

Ing. Markus Josef Luger

# **Lebenszykluskosten von Brückenbauwerken in Vorarlberg**

eingereicht als

## **DIPLOMARBEIT**

an der

**HOCHSCHULE MITTWEIDA**

---

**UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**

**Wirtschaftsingenieurwissenschaften**

**Stallehr, Juli 2009**

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. pol. Andreas Hollidt

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Armin Wachter

### VORWORT

Projekte die erfolgreich umgesetzt werden sollen, müssen aus fachlicher und wirtschaftlicher Sicht bestmöglich geplant werden. Die Wirtschaftlichkeit von Projekten gewinnt dabei zusehend an Bedeutung, da die erforderlichen, immer knapper zur Verfügung stehenden Geldmittel optimal eingesetzt werden müssen.

Die Berechnung der Lebenszykluskosten bildet in der Projektabwicklung ein ergebniszielorientiertes Instrument. Mit der Lebenszykluskostenberechnung können Projektentscheidungen von Beginn an in eine Kosten-Nutzen-Orientierte Richtung gelenkt werden, das bedeutet für die Zukunft mehr „Bewegungsfreiheit“ für neue Projekte. Dies wird umso wichtiger, da das wirtschaftliche Denken auch in der öffentlichen Bauverwaltung unerlässlich ist.

Der Verfasser stellt sich diesem Anliegen, um die Wichtigkeit des Lebenszyklus von Bauwerken in der öffentlichen Bauverwaltung darzustellen und unter Verwendung von einfachen Berechnungsmodellen die Nutzungsmöglichkeiten für die Zukunft zu belegen.

Ausgehend von der Tatsache, dass der Verfasser selbst in der genannten Bauverwaltung tätig ist, und den Einsatz der Berechnung von Lebenszykluskosten befürwortet, erscheint diese als Entscheidungsgrundlage für die Projektabwicklung von straßenbaulichen Anlagen von enormer Wichtigkeit.

Die Arbeit befasst sich mit den wirtschaftlichen Ansätzen für die Berechnung der Lebenszykluskosten, welche als Entscheidungshilfe für die weitere Projektabwicklung dienen sollte, um den hohen Budgetanteil des Landes Vorarlberg, welcher für den Straßenbau vorgesehen ist, optimal einzusetzen.

Die vorliegende Arbeit bedurfte vielfacher Unterstützungen und Anregungen. Mein besonderer Dank für die Fertigstellung der Arbeit gilt meinem betreuenden Professor Dr. rer. pol. Andreas Hollidt sowie dem Fachbereichsleiter für Brücken in der Abteilung VIIb – Straßenbau Dipl. Ing. Armin Wachter, der mich zur Bearbeitung dieser Themenstellung animiert und mir durch seine Diskussionsbereitschaft zahlreiche wertvolle Anregungen vermittelt hat.

Des weiteren möchte ich meinen Vorgesetzten der Abteilung VIIb – Straßenbau des Amtes der Vorarlberger Landesregierung für die großzügige finanzielle Unterstützung des postgradualen Studienganges in Wirtschaftsingenieurwesen danken.

Die Fertigstellung der Diplomarbeit wurde aber letztendlich nur durch die fachliche und menschliche Unterstützung meiner Familie und meinen Freunden ermöglicht. Ein Dank gilt daher meiner Familie, dem Studienkollegen Johann Böckle sowie ein ganz besonderes Dankeschön meiner Frau Helga für die allseitige Unterstützung.

## INHALTSÜBERSICHT

<b>VORWORT .....</b>	<b>II</b>
<b>INHALTSÜBERSICHT .....</b>	<b>III</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>IV</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>VII</b>
<b>FORMELVERZEICHNIS.....</b>	<b>VII</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>X</b>
<b>1    EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2    BRÜCKENBAU IN VORARLBERG .....</b>	<b>5</b>
<b>3    ZUSTANDSBEURTEILUNG VON BRÜCKEN.....</b>	<b>7</b>
<b>4    PROBLEMATIK INSTANDHALTUNG VS. INSTANDSETZUNG .....</b>	<b>15</b>
<b>5    LEBENSZYKLUS VON BRÜCKENBAUWERKEN.....</b>	<b>23</b>
<b>6    LEBENSZYKLUSKOSTENMODELL .....</b>	<b>37</b>
<b>7    OPTIMIERUNG DER LZK-PARAMETER .....</b>	<b>63</b>
<b>8    ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>69</b>
<b>EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG .....</b>	<b>71</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>I</b>
<b>ANLAGEN.....</b>	<b>VII</b>

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>VORWORT .....</b>	<b>II</b>
<b>INHALTSÜBERSICHT .....</b>	<b>III</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>IV</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>VII</b>
<b>FORMELVERZEICHNIS.....</b>	<b>VII</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>X</b>
<b>1    EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1        PROBLEMSTELLUNG .....	1
1.2        LEBENZYKLUSKOSTEN .....	2
1.3        ZIEL DER ARBEIT .....	2
1.4        STRUKTUR DER ARBEIT .....	3
<b>2    BRÜCKENBAU IN VORARLBERG .....</b>	<b>5</b>
2.1        ÜBERBLICK ÜBER DIE BRÜCKEN IN VORARLBERG .....	5
2.2        ERFORDERNIS EINER LEBENZYKLUSKOSTENBERECHNUNG .....	6
<b>3    ZUSTANDSBEURTEILUNG VON BRÜCKEN.....</b>	<b>7</b>
3.1        DEFINITION .....	8
3.2        ÜBERWACHUNG, KONTROLLE UND PRÜFUNG DER BAUWERKE.....	8
3.2.1 <i>Überwachung von Brückenbauwerken.....</i>	<i>8</i>
3.2.2 <i>Kontrolle und Prüfungen von Brückenbauwerken .....</i>	<i>9</i>
3.2.3 <i>Befund von Brückenbauwerken.....</i>	<i>12</i>
3.3        SCHADENSKLASSEN DER ZUSTANDSBEURTEILUNG .....	13
<b>4    PROBLEMATIK INSTANDHALTUNG VS. INSTANDSETZUNG .....</b>	<b>15</b>
4.1        INSTANDHALTUNG .....	16
4.1.1 <i>Maßnahmen der Instandhaltung.....</i>	<i>17</i>
4.1.2 <i>Unterscheidungen innerhalb der Instandhaltung.....</i>	<i>19</i>
4.2        INSTANDSETZUNG.....	20
4.3        ZIELE VON INSTANDHALTUNGS- UND INSTANDSETZUNGSMASSNAHMEN .....	22

<b>5</b>	<b>LEBENSZYKLUS VON BRÜCKENBAUWERKEN .....</b>	<b>23</b>
5.1	LEBENSZYKLUSMODELL .....	24
5.1.1	<i>Lebenszyklusmodell, Vergleich Produktlebenszyklus-Bauwerkslebenszyklus .....</i>	<i>25</i>
5.1.2	<i>Lebenszyklusmodell - Lebenszyklus und Variationen.....</i>	<i>28</i>
5.1.3	<i>Lebensphasen einer Brücke .....</i>	<i>30</i>
5.2	VEREINFACHTES LEBENSKOSTENMODELL EINER BRÜCKE .....	32
5.2.1	<i>Das Lebenszyklussystem aus technischer Sicht.....</i>	<i>34</i>
5.2.2	<i>Das Lebenszyklussystem aus Sicht der Kosten.....</i>	<i>35</i>
<b>6</b>	<b>LEBENSZYKLUSKOSTENMODELL .....</b>	<b>37</b>
6.1	RELEVANTE PARAMETER IM LEBENSZYKLUS.....	38
6.1.1	<i>Baujahr und Alterung .....</i>	<i>39</i>
6.1.2	<i>Erhaltungszustand.....</i>	<i>39</i>
6.1.3	<i>Baukosten.....</i>	<i>40</i>
6.1.4	<i>Örtlichkeit und Tausalzeinfluss .....</i>	<i>40</i>
6.1.5	<i>Verkehrsaufkommen .....</i>	<i>41</i>
6.2	WIRTSCHAFTLICHE GRUNDBEGRIFFE .....	41
6.2.1	<i>Barwert.....</i>	<i>41</i>
6.2.1.1	Barwertberechnung bei einmaligen Kosten.....	42
6.2.1.2	Barwertberechnung bei gleichmäßigen Kosten .....	43
6.2.2	<i>Endwert .....</i>	<i>43</i>
6.2.2.1	Endwertberechnung bei einmaligen Kosten .....	44
6.2.2.2	Endwertberechnung bei gleichmäßigen Kosten .....	44
6.2.3	<i>Restwertberechnung .....</i>	<i>45</i>
6.2.3.1	Restwertberechnung mit der Barwertmethode.....	45
6.2.3.2	Restwertberechnung mit der Endwertmethode.....	46
6.2.4	<i>Kalkulationszinssatz.....</i>	<i>46</i>
6.3	TECHNISCHE BEGRIFFE .....	47
6.3.1	<i>Nutzungsdauer .....</i>	<i>47</i>
6.3.1.1	betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer .....	48
6.3.1.2	wirtschaftliche Nutzungsdauer .....	48
6.3.1.3	technische Nutzungsdauer.....	48
6.3.2	<i>Restnutzungsdauer.....</i>	<i>48</i>
6.3.3	<i>Theoretische Nutzungsdauer an Brücken und deren Bauteile.....</i>	<i>49</i>
6.4	BERECHNUNGSMODELL LEBENSZYKLUSKOSTEN .....	50
6.4.1	<i>Lebenszyklusmodell nach der Barwertmethode .....</i>	<i>51</i>
6.4.2	<i>Lebenszyklusmodell nach der Endwertmethode .....</i>	<i>52</i>
6.5	MODELLBEISPIEL .....	53
6.5.1	<i>Beispielrechnung nach der Barwertmethode .....</i>	<i>54</i>
6.5.2	<i>Beispielrechnung nach der Endwertmethode.....</i>	<i>58</i>
6.6	RESÜMEE BERECHNUNG LEBENSZYKLUSMODELL .....	62
<b>7</b>	<b>OPTIMIERUNG DER LZK-PARAMETER .....</b>	<b>63</b>
7.1	GRUNDLAGE – KOSTENANSÄTZE FÜR BRÜCKEN .....	63
7.2	BERECHNUNG – ANTEIL BAUTEILKOSTENSUMME .....	64
7.3	VERÄNDERUNG - TECHNISCHE NUTZUNGSDAUER/JÄHRLICHE INSTANDHALTUNGSKOSTEN .....	65

---

<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>69</b>
	<b>EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG .....</b>	<b>71</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>I</b>
	BÜCHER/FACHSCHRIFTEN.....	I
	NORMEN, RICHTLINIEN.....	III
	STUDIEN, VORTRÄGE, BERICHTE .....	V
	QUELLEN AUS DEM INTERNET.....	VI
	<b>ANLAGEN.....</b>	<b>VII</b>
	ANLAGE 1 – SCHADENSKLASSEN FÜR DAS GESAMTE BRÜCKENOBJEKT .....	VII
	ANLAGE 2 – BESONDERE ANWEISUNGEN FÜR ÜBERWACHUNG, KONTROLLE UND PRÜFUNG VON BAUTEILEN .....	VIII
	ANLAGE 3 – AUFGABENTEILUNG UND HÄUFIGKEITEN .....	XI
	ANLAGE 4 – THEORETISCHE NUTZUNGSDAUER/JÄHRLICHE INSTANDHALTUNG.....	XIV
	ANLAGE 5 – BERECHNUNG 1: VARIATION ND/JÄHR. INST.KOST - BW .....	XVI
	ANLAGE 6 – BERECHNUNG 2: VARIATION ND/JÄHR. INST.KOST - BW .....	XVII
	ANLAGE 7 – BERECHNUNG 1: VARIATION ND/JÄHR. INST.KOST - EW.....	XVIII
	ANLAGE 8 – BERECHNUNG 2: VARIATION ND/JÄHR. INST.KOST - EW.....	XIX
	ANLAGE 9 - KOSTENAUFSTELLUNG ZUR ERMITTLUNG DER M <sup>2</sup> -PREISE FÜR STAHLBETONBRÜCKEN AM BEISPIEL L198, LECH, ZÜRSBACHBRÜCKE UND MONZABONBACHBRÜCKE.....	XX
	ANLAGE 10 – DIENSTSTELLENPLAN ABT. VIIb .....	XXII

### ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1:	Einsatz des Brückeninspektionsgerätes an der Lingenauer Brücke .....	10
Abb. 2:	Produktlebenszyklus vgl. (Peters, R.Brühl, & J.Stelling, 2005) siehe Seite 148 .....	26
Abb. 3:	Produktlebenszyklus mit zweimaliger Produktvariation .....	28
Abb. 4:	Produktlebenszyklus einer Brücke (Annäherung) .....	29
Abb. 5:	Lebensphasen einer Brücke .....	30
Abb. 6:	Lebenskostenzyklussystem auf Grundlage der Lebensphasen .....	33
Abb. 7:	vereinfachtes Lebenskostenzyklussystem.....	33
Abb. 8:	Kostengliederung der Zyklusphasen .....	35
Abb. 9:	Lebenszykluskosten einer Brücke (Straninger, Wicke, & Kirsch, 2000, S. 2-1).....	37
Abb. 10:	Bauwerksstruktur - Gliederung .....	49
Abb. 11:	Baustelle Zürsbachbrücke und Monzabonbachbrücke .....	xx

### FORMELVERZEICHNIS

Formel 1:	Beurteilungswert für das Gesamtbauwerk.....	14
Formel 2:	Berechnung Barwert bei einmaligen Kosten .....	42
Formel 3:	Berechnung Barwert bei jährlichen Kosten .....	43
Formel 4:	Berechnung Endwert bei einmaligen Kosten.....	44
Formel 5:	Berechnung Endwert bei jährlichen Kosten .....	44
Formel 6:	Berechnung Restwert mit der Barwertmethode.....	45
Formel 7:	Berechnung Restwert mit der Endwertmethode .....	46
Formel 8:	Lebenszykluskosten der Errichtungskosten nach der Barwertmethode .....	51
Formel 9:	Lebenszykluskosten der Instandhaltungskosten nach der Barwertmethode .....	51
Formel 10:	Lebenszykluskosten der Instandsetzungskosten nach der Barwertmethode .....	52
Formel 11:	Lebenszykluskosten der Errichtungskosten nach der Endwertmethode.....	52
Formel 12:	Lebenszykluskosten der Instandhaltungskosten nach der Endwertmethode.....	53
Formel 13:	Lebenszykluskosten der Instandsetzungskosten nach der Endwertmethode.....	53

**TABELLENVERZEICHNIS**

<i>Tabelle 1:</i>	<i>Schadensklassen 1 - 6 für das gesamte Brückenobjekt .....</i>	<i>13</i>
<i>Tabelle 2:</i>	<i>Vergleich Tabelle Lebenszyklusmerkmale .....</i>	<i>26</i>
<i>Tabelle 3:</i>	<i>Nutzungsdauern von Bauteilen einer Stahlbetonbrücke .....</i>	<i>50</i>
<i>Tabelle 4:</i>	<i>Bestandteile der Brücke, deren Kosten sowie theoretische Nutzungsdauer und Prozentsätze der jährlichen Unterhaltskosten .....</i>	<i>54</i>
<i>Tabelle 5:</i>	<i>Ergebnistabelle, Beispielrechnung nach der Barwertmethode .....</i>	<i>58</i>
<i>Tabelle 6:</i>	<i>Ergebnistabelle, Beispielrechnung nach der Endwertmethode .....</i>	<i>62</i>
<i>Tabelle 7:</i>	<i>Bestandteile der Brücke, Variation theoretische Nutzungsdauer und der Anteil der jährlichen Unterhaltskosten .....</i>	<i>66</i>
<i>Tabelle 8:</i>	<i>Ergebnistabelle, Berechnung - LZK nach Standardvorgaben oder Zyklusbereinigt .....</i>	<i>67</i>
<i>Tabelle 9:</i>	<i>Gegenüberstellung - LZK nach Standardvorgaben oder Zyklusbereinigt .....</i>	<i>68</i>
<i>Tabelle 10:</i>	<i>Aufgabenteilung und Häufigkeit, laufende Überwachung .....</i>	<i>xi</i>
<i>Tabelle 11:</i>	<i>Aufgabenteilung und Häufigkeit, Kontrolle .....</i>	<i>xii</i>
<i>Tabelle 12:</i>	<i>Aufgabenteilung und Häufigkeit, Prüfung .....</i>	<i>xiii</i>
<i>Tabelle 13:</i>	<i>theoretische Nutzungsdauer und Prozentsätze der jährlichen Unterhaltungskosten (Liste unvollständig) .....</i>	<i>xv</i>
<i>Tabelle 14:</i>	<i>Ermittlung Kostenanteile für Bauwerksteile und m<sup>2</sup>-Kosten .....</i>	<i>xxi</i>



## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
Abt.	Abteilung
BW	Barwert
BWL	Betriebswirtschaftslehre
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
d.h.	das heißt
etc.	et cetera
DTLV	durchschnittlicher täglicher LKW Verkehr
ev.	eventuell
EW	Endwert
FB-BW	Fachbereich-Bauwerke
ff	und folgende
Hrsg.	Herausgeber
i.d.R.	in der Regel
lt.	laut
LZK	Lebenszykluskosten
o. g.	oben genannten
Pb.	Preisbasis
Pkt.	Punkt
rd.	rund
RVS	Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen
S.	Seite
s.o.	siehe oben
sog.	so genannte
udgl.	und dergleichen
usw.	und so weiter
U.V.	Unbekannter Verfasser
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

### ABSTRACT

Entscheidungen über Investitionen in die Straßeninfrastruktur – insbesondere den Brückenbestand – sind sowohl unter technischen als auch unter wirtschaftlichen Aspekten zu bewerten. In dieser Arbeit wird die Möglichkeit der einfachen Berechnung von Lebenszykluskosten von Brückenbauwerken vorgestellt. Die Berechnungen erfolgen mit der Bar- und Endwertmethode und dienen als wirtschaftliche Entscheidungshilfe. Wirtschaftlich ist eine Maßnahme nicht schon dann, wenn die Baukosten möglichst gering sind, vielmehr sind auch alle relevanten Folgekosten zu berücksichtigen. Ziel einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist es also, Maßnahmen zu benennen, die mit vertretbarem Mitteleinsatz zu einer möglichst langen Nutzungsdauer des Bauwerkes bei gleichzeitig niedrigen Erhaltungskosten führen<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> (Krauss, 2004) Instandsetzung oder Erneuerung; vgl. S.570, Pkt. 1., Einleitung.

## 1 EINLEITUNG

In Vorarlberg wurde ein Großteil der bestehenden Brücken in den 60er, 70er und 80er Jahren geplant und errichtet. Die Planungen wurden auf bestehenden Trassen durchgeführt, um die Rampenstrecken zu und vom Brückenbauwerk möglichst unverändert zu lassen. Die Erreichbarkeit wurde durch diese Bauten wesentlich verbessert. Einige der Bauwerke sind wesentlich älter (steingemauerte Bogenbrücken) und noch immer in Betrieb. Mittlerweile bestehen in Vorarlberg auf einer Straßennetzlänge von ca. 800km (ohne Autobahnen) 584 Brückenbauwerke<sup>2</sup> von unterschiedlicher Größe und unterschiedlichem Alter. Der Erhaltung der Vielzahl an Brücken und deren Bausubstanz kommt künftig eine immer größere Bedeutung zu.

Die Erhaltung der Bausubstanz und die Gewährleistung der Verkehrssicherheit wurden lange Jahre von den einzelnen Straßenmeistereien eigenständig und in unterschiedlichsten zeitlichen Intervallen und variabler Qualität selbst durchgeführt. Eine Prüfung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen wurde sehr selten oder meist gar nicht vorgenommen. Aufgrund der ständigen Zunahmen der Brückenbauwerke und den stets umfangreicheren notwendigen Maßnahmen, der daraus folgenden Mehrarbeit für Instandhaltung und Instandsetzung wurden die Leistungen der Straßenmeistereien mehr und mehr an private, fachlich geeignete Unternehmen übertragen.

Aus den Erfahrungen der Erhaltungsmaßnahmen an den Brücken und den Budgetlimitierungen der letzten Jahre wurde mehr Augenmerk auf die Instandhaltungs- und Instandsetzungskosten gelegt. Mit der Erkenntnis, dass die Instandhaltungs- und Instandsetzungsleistungen sehr kostenaufwendig sind und die Errichtungskosten oft die Lebensdauer des Bauwerkes überschreiten wurden die ersten Berechnungen der Lebenszykluskosten vorgenommen. Diese dienten als Entscheidungsgrundlage für zukünftige Maßnahmen bei Errichtung und Erhaltung von Brückenbauwerken.

### 1.1 PROBLEMSTELLUNG

Im Zuge von Brückenneuerrichtungen wird oft nur der ursprüngliche Zustand wiederhergestellt, d.h. bei Abbruch einer Stahlbetonbrücke wird wieder eine Stahlbetonbrücke errichtet usw.. Eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung erfolgte nicht oder nur in den seltensten Fällen.

Die Vergabe von Angeboten erfolgt nach dem Bestbieterprinzip, was i.d.R. bedeutet, dass der Billigstbieter den Zuschlag erhält. Durch die meist knappe Preisgestaltung versuchen die Unternehmen die Leistungen zu optimieren, was zu Qualitätseinbußen führen kann und in weiterer Folge höhere Instandhaltungs- und Instandsetzungskosten verursacht.

---

<sup>2</sup> (Straßenwesen, Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, RVS 13.03.11 Straßenerhaltung - Überwachung, Kontrolle und Prüfung - Straßenbrücken, 1995), als Brücken werden Bauwerke bezeichnet mit normalen Einzellichtweiten > 2,00m (darunter sprechen wir von Durchlässen).

Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen werden zu willkürlichen Zeitpunkten durchgeführt, i.d.R. meist schon so spät, sodass die Bausubstanz starke Mängel und Beschädigungen aufweist, welche nur mit großem Kostenaufwand wiederhergestellt werden kann.

### 1.2 LEBENZYKLUSKOSTEN

Die Lebenszykluskosten beschreiben die ganzheitliche Kostenbetrachtung eines Produktes, einer Anlage oder eines Bauteiles von der Planung über die Produktion/Errichtung bis zur Entsorgung/Abbruch.

Grundsätzliches Ziel sind Kostenoptimierungen durch die Analyse der LZK, nachhaltige Planung unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus Errichtung, Betrieb und Abbruch sowie risikobewusstes Handeln auf Basis der Analyse von Lebenszyklusberechnungen und deren Auswirkungen.

Die Bestimmung von LZK bei Bauwerken wurde anfangs im Hochbau angewendet, weil festgestellt wurde, dass eine nachhaltige Werterhaltung und Wertverbesserung der Objekte das erforderliche Kapital besser nutzt. Oberstes Ziel dabei war die Optimierung der LZK. Für die Bestimmung der LZK wurden unterschiedliche Methoden entwickelt und angewendet.

Im Tiefbau begann die Bestimmung der LZK erst zu einem späteren Zeitpunkt. Der Bedarf im Tiefbau entstand erst bei Auftreten der ersten notwendigen, großen und kostenaufwändigen Instandsetzungen von Objekten (Brücken und Tunnel).

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Bestimmung von LZK von Brückenbauwerken. Die Berechnung der LZK erfolgt mit der Barwert- und Endwertmethode, da diese Methoden fassbar und verständlich sind.

### 1.3 ZIEL DER ARBEIT

Die LZK als ein Werkzeug für Entscheidungen des Varianteneinsatzes oder der Planung von Instandsetzungsrhythmen ist für den Verfasser dieser Diplomarbeit unbestritten. Zugleich musste eine Möglichkeit der einfachen, übersichtlichen und verständlichen Berechnung möglich sein, in welcher mit einfachen und verständlichen Ansätzen die LZK berechnet werden können. Dies war auch der Anlass über dieses Thema zu schreiben.

Die Arbeit hat die Aufgabe das Thema Lebenszykluskostenberechnung Personen näher zu bringen, die unmittelbar im Entscheidungsablauf stehen, und ihnen die Notwendigkeit und die Möglichkeiten der Berechnung von LZK näher zu bringen. Die Anwender sollen mehr über die Zusammenhänge der Leistungsmaßnahme und des Leistungszeitpunktes in Bezug auf die Kostenentwicklung erfahren.

Die Lebenszykluskostenberechnung soll einfach funktionieren, die Eingabeparameter müssen dem technischen Verständnis entsprechen und sollen nachvollziehbar sein. Die gewählten Berechnungsmethoden sollen erklärbar sein um die Ergebnisse richtig zu interpretieren.

Ein wesentliches Ziel ist die Akzeptanz der Lebenszykluskostenberechnung im Tagesgeschäft. Sie soll in der Anwendung laufend optimiert und als dynamisches Produkt betrachtet werden, d.h. je genauer die erfassten Eingabedaten, desto zielgenauer die Ergebnisinterpretation.

Die Lebenszykluskostenberechnung kann aufgrund der Optimierung von Arbeitsabläufen und der Wahl der richtigen Ausführungsvariante den Nachweis erbringen, dass mit den öffentlichen Geldern sparsam gehaushaltet wird.

Die Ziele der Arbeit können kurz zusammengefasst werden in:

- Aufklärung des Erfordernisses von LZK
- einfache Berechnungsmöglichkeit der LZK
- Anwendung und Optimierung in der Berechnung von LZK
- Nachweis des maßvollen Einsatzes von öffentlichen Mitteln

## 1.4 STRUKTUR DER ARBEIT

Die Diplomarbeit gliedert sich in 4 Themenbereiche:

Der erste Themenbereich<sup>3</sup> befasst sich mit dem Brückenbau im Allgemeinen und der Entwicklung der Bauwerke in Vorarlberg sowie den technischen Grundlagen eines Brückenbauwerkes. Diese Themenbereiche sollen dem Leser die Vielfalt und Komplexität von Brückenbauwerken aus gestalterischer und technischer Sicht näher bringen.

Der zweite Themenbereich<sup>4</sup> beschreibt die Situation des Bauwerkszustandes und die daraus notwendigen Maßnahmen von Instandhaltung und Instandsetzung. Die Anwendung dieser Begriffe und deren inhaltliche Definition werden oft verwechselt und sollen Klarheit bringen.

Der dritte Themenbereich<sup>5</sup> beschäftigt sich mit dem Lebenszyklusmodell einer Brücke, welches auf ein vereinfachtes Berechnungsmodell reduziert wird.

---

<sup>3</sup> siehe Pkt. „2. Brückenbau in Vorarlberg“.

<sup>4</sup> siehe Pkt. „3 Zustandsbeurteilung von Brücken“ und „4. Problematik Instandhaltung vs. Instandsetzung“.

<sup>5</sup> siehe Pkt. „5. Lebenszyklus von Brückenbauwerken“.

Der vierte Themenbereich<sup>6</sup> gliedert sich in die thematische Erläuterung der angewendeten Formeln und der Darstellung von Lebenszykluskosten anhand eines Berechnungsbeispiels, sowie den Veränderungen der Berechnungsergebnisse bei der Optimierung der Parameter für die Lebenszykluskostenberechnung.

Der Abschluss für die vier Themenbereiche bildet die generelle Zusammenfassung<sup>7</sup> der Diplomarbeit mit einem objektiven Ausblick des Verfassers, was die Einführung von Lebenszykluskostenberechnung in der öffentlichen Bauverwaltung betrifft.

---

<sup>6</sup> siehe Pkt. „6. Lebenszykluskostenmodell“ und „7. Optimierung der LZK-Parameter“.

<sup>7</sup> siehe Pkt. „8. Zusammenfassung und Ausblick“.

## 2 BRÜCKENBAU IN VORARLBERG

Vorarlberg ist mit 141 Einwohnern/km<sup>2</sup> bzw. mit ca. 450-500 Einwohnern auf 1km<sup>2</sup> im Rheintal eines der dichtbesiedeltsten Bundesländer in Österreich. Etwa 70% der Einwohner leben zw. Feldkirch und Bregenz, die restlichen 30% sind auf die Talschaften verteilt. Neben der Landwirtschaft und dem Tourismus hat Vorarlberg eine hochentwickelte Industrie, welche sich vorwiegend im Rheintal befindet. Dies führte dazu, dass auch entlegene Gebiete mit der Wirtschaftszone Rheintal verbunden werden mussten.

### 2.1 ÜBERBLICK ÜBER DIE BRÜCKEN IN VORARLBERG

Vorarlberg hat eine Fläche von ca. 2600 km<sup>2</sup> und liegt am tiefsten Punkt 395 m.ü.A.<sup>8</sup>. Der höchste Gipfel ist 3.312 m.ü.A. Drei viertel des Landes liegen im alpinen Bereich, das Gelände ist sehr selektiv, von flachen Hügeln bis zu steilen Felsflanken.

Die Straßenverbindungen sind durch die sukzessive Besiedelung der Täler geschichtlich gewachsen und bildeten früher wichtige Handelsrouten zu anderen Bevölkerungsteilen. Aufgrund der Topographie mussten immer wieder Täler und Schluchten überwunden werden, um lange Umfahrungen zu umgehen, und vor allem um Sicherheit vor Lawinen und Steinschlag zu erhalten. Aufgrund der zur Verfügung stehenden Baumaterialien wurden früher vermehrt Holzbrücken gebaut. Durch den stetigen Anstieg des Verkehrs und der Zunahme der Belastungen mussten neue Materialien eingesetzt werden und es konnten auch die Spannweiten vergrößert werden. In der Zeit ab 1950 wurden die meisten Brücken verbreitert, angepasst und durch Stahlbetonbrücken ersetzt. Derzeit sind 584 Brücken verschiedenster Bauarten<sup>9</sup> von der Abteilung VIIb Straßenbau – Fachbereich Brücken<sup>10</sup> zu verwalten.

Zur Erhaltungssicherung und Verlängerung der Lebensdauer von Brücken wurde die Einführung von systematischen Brückenprüfungen eingeführt. Damit kann sichergestellt werden, dass die Stand- und Verkehrssicherheit dauerhaft über die Lebensdauer gewährleistet ist. Diese Prüfungen sind in Art und Umfang in der RVS geregelt und ermöglichen, Schäden und Gefahren frühzeitig zu erkennen und Maßnahmen zur Behebung derer einzuleiten.

Über die Lebensdauer einer Brücke sind laufende Instandhaltungen und zyklische Instandsetzungen erforderlich. Das bedeutet, dass eine Brücke über ihre Lebensdauer mehrere Sanierungen durchläuft und somit immer wieder Geldmittel zur Erhaltung der Verkehrssicherheit notwendig sind. Genau diese Kosten gilt es, bei der Lebenszykluskostenberechnung zu erfassen und in ihrer Größenordnung zu beschreiben.

---

<sup>8</sup> m.ü.A. = **Meter über Adria** (in Österreich auch Seehöhe oder Adria Höhe) ist eine Angabe der Höhe über dem Meeresspiegel bezüglich des mittleren Pegelstands der Adria am Molo Sartorio von Triest.

<sup>9</sup> Die Bauarten werden bestimmt von den Baumaterialien (Holz, Stahl, Beton) und deren Mischformen, sowie der Ausführungsart (Fachwerks-, Hohlkasten-, Hänge-, Bogenbauweise etc.)

<sup>10</sup> In der Verantwortung des Fachbereiches-Brücken befinden sich Brücken, Tunnel, Galerien, Stützmauern und Lawinensicherungen.

#### 2.2 ERFORDERNIS EINER LEBENSZYKLUSKOSTENBERECHNUNG

Auch in der öffentlichen Verwaltung muss immer mehr gespart werden. Durch Personaleinsparungen, Optimierung von Arbeitsabläufen und die immer geringeren Finanzmittel sind Maßnahmen zur Bestimmung der Gesamtkosten von Bauwerken notwendig. Durch die Möglichkeit der Lebenszykluskostenberechnung können die erforderlichen Maßnahmen angepasst werden und die zur Verfügung stehenden Finanzmittel möglichst effizient eingesetzt werden.

In weiterer Folge bedeutet dies, dass bei Brückenbauwerken auf eine möglichst langfristige Nutzung geachtet werden muss. Die Herstellungskosten sollen bei höchster Qualität unter Berücksichtigung der zukünftigen Erhaltungskosten über die Lebensdauer des Bauwerkes möglichst gering gehalten werden. Gleichzeitig ist auf eine ausgewogene Werterhaltung der Brücke zu achten, d.h. die Instandsetzungsmaßnahmen sollen gezielt und im technisch notwendigen Erfordernis durchgeführt werden.

Die Einsatzdauer von Brückenbauwerken wird bei Stahlbetonbrücken auf ca. 70-100 Jahre angenommen, wobei diese Nutzungsdauer nur bei sachgerechter Instandhaltung und Instandsetzung erreicht werden kann. Da diese Kosten über die Nutzungsdauer einen wesentlichen Anteil einnehmen, ist die Berechnung der Lebenszykluskosten unumgänglich.



### 3 ZUSTANDSBEURTEILUNG VON BRÜCKEN

In der Vergangenheit wurden die Zustandsbeurteilungen von Brücken in unterschiedlichster Art und Weise und in keiner einheitlichen Form durchgeführt. Vergleiche unter den Brückenbauwerken und deren Zustandsbewertung war daher kaum bis gar nicht möglich. Ebenso wurden auf Grundlage der Befunde unterschiedliche Maßnahmen zur Verbesserung des Bauwerkszustandes eingeleitet. Eine Vereinheitlichung der Bewertung des Zustandes von Brückenbauwerken, sowie eine klare und eindeutige Darstellung der Mängel im Befund, waren daher unumgänglich.

Auslöser für die Notwendigkeit einer Zustandsbeurteilung von Brücken war der Brückeneinsturz der Reichsbrücke in Wien. Die Brücke stürzte am 1. August 1976 in den frühen Morgenstunden bei geringer Verkehrsbelastung ein. Die genaue Ursache des Brückeneinsturzes konnte nicht festgestellt werden. Es wird angenommen, dass das Versagen mehrerer einzelner Bauteile zum Einsturz der Wiener Reichsbrücke geführt hat. Brückenprüfungen im heutigen Sinne waren damals noch nicht vorgeschrieben.<sup>11</sup>

Das zweite große Ereignis des Versagens einer Brücke ereignete sich am 11. Juli 1990. Dort senkte sich über Nacht der Flußpfeiler der Autobahnbrücke A12 (Innbrücke bei Kufstein). Auslöser der Brückensenkung war die Auskolkung eines Brückenpfeilers an der stromabwärtigen Seite im Bachbett des Inn-Flusses um mehr als 1m, was zur Folge hatte, dass sich auf der Fahrbahn ein Absatz von mehr als 30cm bildete und die Brücke unbefahrbar wurde.<sup>12</sup>

Bereits in den 80er Jahren wurde ein neues vereinheitlichtes Beurteilungssystem eingeführt, damit konnte der Grad der Schädigungen überall möglichst gleich bewertet werden. Bei den Instandsetzungsarbeiten kam es jedoch wiederholt zu Bauzeit- und Kostenüberschreitungen, da die Arbeiten zumeist nur auf Basis des Befundes ausgeschrieben wurden und der Grad der Schädigung nicht lückenlos erhoben wurde. Auf Grundlage dieser Erkenntnis wurde vom Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten der Forschungsauftrag „Verfahren zur Vorhersage des Umfanges von Brückensanierungen“<sup>13</sup> erteilt.

Durch die nun regelmäßig durchgeführten Überprüfungen wurde die Möglichkeit geschaffen, Veränderungen am Bauwerk rechtzeitig zu erkennen, sie im Befund richtig und im vollen Ausmaß zu beurteilen und somit Zeit- und Kostenüberschreitungen zu minimieren. Die Straßenmeistereien wurden ebenfalls in die Lage versetzt, Mängel zu beseitigen, bevor diese einen noch größeren Schaden anrichten und die Verkehrssicherheit gefährden.

---

<sup>11</sup> (MA29 - Brückenbau und Grundbau; arsenal research) – Geschichte der Reichsbrücke.

<sup>12</sup> (Amt der Tiroler Landesregierung, Dipl.-Ing. Martin Aschaber) - Messtechnische Überwachung der Setzungsbewegung des Flußpfeilers der Inntal-Autobahnbrücke bei Kufstein.

<sup>13</sup> (Wicke, Straninger, Stehno, & Bergmeister, 1987) –Verfahren zur Vorhersage des Umfanges von Brückensanierungen, Heft 338.

### 3.1 DEFINITION

Gemäß der Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Straßenwesen dient die Zustandsbeurteilung der bautechnischen Überwachung der Straßenbrücken im Hinblick auf die Zuverlässigkeit<sup>14</sup> des Bauwerkes und der Verkehrssicherheit und wird wie folgt definiert.

„Erhebung des Erhaltungszustandes zum Zwecke der rechtzeitigen Erkennung von Mängeln und etwa eingetretenen Schäden und den Erhaltungsverpflichteten dadurch in die Lage zu versetzen, diese Mängel und Schäden zu beheben, bevor größerer wirtschaftlicher Schaden eintritt oder die Verkehrssicherheit der Brücke beeinträchtigt wird.“<sup>15</sup>

### 3.2 ÜBERWACHUNG, KONTROLLE UND PRÜFUNG DER BAUWERKE

Die Überwachung, Kontrolle und Prüfung der Bauwerke nimmt im Rahmen der Brückenerhaltung eine wichtige Aufgabe ein. Die Aufgabe, systematische Bewertung von Mängeln und Schäden, ermöglicht die Erstellung eines Maßnahmenkataloges mit einer Beschreibung der erforderlichen Arbeiten zur Behebung der Mängel. Die Behebung der Mängel durch die gesetzten Sanierungs- und Verbesserungsmaßnahmen sind für die Lebensdauer der Brücke von entscheidender Bedeutung.

Je gewissenhafter und genauer die Überwachungen, Kontrollen und Prüfungen durchgeführt werden und je genauer die Mängel qualifiziert und quantifiziert werden, desto zielgerechter können „lebensverlängernde“ Maßnahmen am Bauwerk gesetzt werden und somit das vorhandene Etat für die Erhaltungsmaßnahmen gezielt und sparsam eingesetzt werden.

#### 3.2.1 ÜBERWACHUNG VON BRÜCKENBAUWERKEN

Die Überwachungen werden im Regelfall durch betriebseigenes Personal der Brückenabteilungen der Straßenmeistereien durchgeführt.

Die Überwachungen werden in eine „laufende Überwachung“, die mehrmals jährlich in unregelmäßigen Abständen stattfindet und in eine „periodische Überwachung“, die mindestens ein Mal im Jahr erfolgt, eingeteilt (eine detaillierte Aufstellung zu den Überwachungshäufigkeiten siehe Anlage 3 – Aufgabenteilung und Häufigkeiten).

---

<sup>14</sup> Unter Zuverlässigkeit ist die Tragsicherheit der Bauwerksteile, die Gebrauchstauglichkeit im Sinne der Funktionalität und die Dauerhaftigkeit der einzelnen Materialien sowie die gesamthaft bewertete Dauerhaftigkeit zu verstehen.

<sup>15</sup> (Straßenwesen, Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, RVS 13.03.11 Straßenerhaltung - Überwachung, Kontrolle und Prüfung - Straßenbrücken, 1995) vgl. Kap. 2, Allgemeines.

Die Überwachungsarbeiten am Bauwerk werden rein augenscheinlich, d.h. ohne Prüfgeräte und Werkzeuge, durch ein oder zwei Personen der Straßenmeistereien vorgenommen.<sup>16</sup>

Bei den laufenden Überwachungen wird vor allem die Funktionsfähigkeit der Anlagenteile (Brückenentwässerungen und deren Ausleitungen oder Versickerungen, Fahrbahnübergänge, Brückenlager, Fahrbahn- und Gehsteigbeläge) überprüft, sowie Schäden und Mängel bewertet, die zu einer Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit führen können. Bei den laufenden Überwachungen wird in der Regel kein Protokoll geführt, jedoch Mängel, die die Verkehrssicherheit beeinträchtigen werden schriftlich an die Erhaltung des FB-BW, Abt. VIIb<sup>17</sup> gemeldet.

Die „laufende Überwachung“ zählt zu den Hauptaufgaben der Straßenmeistereien, und darf nur von eigens geschultem Personal durchgeführt werden. Die Umsetzung der Sanierungsmaßnahmen erfolgt bei Erfordernis und wird im Maßnahmenkatalog festgehalten.

### 3.2.2 KONTROLLE UND PRÜFUNGEN VON BRÜCKENBAUWERKEN

Bei den Kontrollen wird die Veränderung des Erhaltungszustandes festgestellt, festgehalten und bewertet. Die Feststellung der Funktionstüchtigkeit erfolgt durch eine augenscheinliche Prüfung durch ausgebildetes Fachpersonal.<sup>18</sup>

Die Untersuchungen an den Bauwerken sind in Art und Umfang definiert. Es wird dabei unterschieden in „Kontrollen“ und „Prüfungen“. Beide Untersuchungsarten werden in fest vorgegebenen Zeitabständen, entweder durch geschultes Fachpersonal der Straßenmeisterei- en oder durch unabhängige Ingenieurbüros von geprüftem, sachkundigem und befähigtem Personal durchgeführt.

Die „**Kontrollen**“ werden im Zeitabstand von höchstens zwei Jahren im Regelfall von eigenem Fachpersonal vorgenommen. Dabei werden ausgehend vom Idealzustand der Anlagenteile, die Veränderungen des Zustandes festgestellt, bewertet und niedergeschrieben.

---

<sup>16</sup> (Schach, Otto, Häupl, & Fritsche, August 2006) Lebenszykluskosten von Brückenbauwerken vgl. Kap. 4.2, Leistungen der Zustandskontrolle.

<sup>17</sup> Die Abt. VIIb ist eine Dienststelle im Amt der Vorarlberger Landesregierung. Eine Übersicht der Dienststelle VIIb ist in Anlage 10 – Dienststellenplan Abt. VIIb – ersichtlich.

<sup>18</sup> (Straßenwesen, Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, RVS 13.03.11 Straßenerhaltung - Überwachung, Kontrolle und Prüfung - Straßenbrücken) vgl. Kap. 4. Kontrolle.

Die „**Prüfungen**“ werden von einem unabhängigen, sachkundigen Ingenieurbüro durchgeführt. Die erste Prüfung erfolgt dabei unmittelbar vor Ablauf der Gewährleistung oder innerhalb der ersten drei Jahre nach Bauende oder Übernahme der Brücke durch den Bauherrn. Anschließend hat alle sechs Jahre eine weitere Brückenkontrollprüfung zu erfolgen. Sollte sich durch bauliche Maßnahmen eine frühere Prüfungsmöglichkeit für verdeckte Bauteile<sup>19</sup> ergeben, so sind diese zwingend wahrzunehmen. Die Koordination dieser zeitlich nicht definierten Prüfungen erfolgt auf Anweisung des FB-BW, Abt. VIIb. Bei Brücken ohne bewegliche Teile darf der Prüfungsrhythmus auf zehn Jahre ausgedehnt werden. Brücken mit besonderen Bauteilen, wie Seile und Verankerungen, sind in Abständen von drei Jahren zu prüfen.

Die Zuständigkeiten und Häufigkeiten von Kontrollen und Prüfungen sind in Anlage 3 – Aufgabenteilung und Häufigkeiten – beschrieben.

Bei den Kontrollprüfungen werden die Zustandsveränderungen ausgehend vom Idealzustand festgestellt, bewertet und niedergeschrieben. Aus den Ergebnissen der Kontrollprüfungen wird ein Befund erstellt, in dem die Mängel festgehalten und die erforderlichen Maßnahmen zum betreffenden Mangel erläutert werden. Zudem wird der zeitliche Rahmen zur Umsetzung der Sanierungsmaßnahmen bestimmt.



Abb. 1: Einsatz des Brückeninspektionsgerätes an der Lingenauer Brücke<sup>20</sup>

---

<sup>19</sup> Unter verdeckten Bauteilen sind Bauteile zu verstehen, die im Normalfall nicht zugänglich sind. So kann z.B. eine Prüfung der Betondecke erst nach Abtrag von Asphaltbelag und Isolierung erfolgen.

<sup>20</sup> Foto beigelegt vom Amt der Vorarlberger Landesregierung Abt. VIIb (M. Behmann).

Die „**Kontrolle**“ und die „Kontrollprüfungen“ erfolgen auf alle Hauptbauteile des Brückenbauwerkes. Die Hauptbauteile einer Brücke werden unterschieden in den Unterbau, Überbau (lt. RVS) oder Tragwerk und die Brückenausrüstung. Bevor mit den Prüfungen am Bauwerk begonnen wird sind Vorarbeiten, wie das Reinigen der Bauwerksteile sowie geeignete Prüfgeräte (Brückeninspektionsgerät etc.) bereitzustellen. Weiters sind Bestandspläne des Brückenobjektes erforderlich, um die Lokalisierung der Schäden ersichtlich zu machen.

Bei den Bauteilen (Unterbau, Überbau, Brückenausrüstung) ist auf bestimmte mögliche Mängel zu achten und diese sind schriftlich festzuhalten.

Folgend eine kurze Auflistung der erforderlichen Prüfarbeiten an Bauteilen welche bei Brücken geprüft werden müssen. Die Anwendung erfolgt nur bei Bauwerken mit einer senkrechten lichten Weite, von über 2m:<sup>21</sup>

(eine detaillierte Auflistung ist in Anlage 2 – Besondere Anweisungen für Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Bauteilen – ersichtlich)

### **Unterbau**

- Lagemäßige Veränderung der Pfeiler, Widerlager und Flügel
- Gerinnesicherung, Kolke und Anlandungen
- Wasseraustritte
- Rutschungen
- Holz- oder Stahljoche, Holzpfähle
- Betonverhalten bei Widerlager, Flügel, Pfeiler und Auflagerbänke

### **Überbau (Tragwerk)**

- Holztragwerke
- Beton-, Stahlbeton- und Spannbetontragwerke  
(*Betonfestigkeit gemäß ÖNORM B 4200, Teil 10<sup>22</sup> und ÖNORM B 4202<sup>23</sup>*)
- Stahltragwerke
- Verbundtragwerke
- Gewölbe

---

<sup>21</sup> (Straßenwesen, Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, RVS 13.03.11 Straßenerhaltung - Überwachung, Kontrolle und Prüfung - Straßenbrücken) siehe Kap. 5.5 Unterbau, 5.6 Überbau und 5.7 Brückenausrüstung.

<sup>22</sup> (Fachnormenausschuss, ÖNORM B 4200 Teil 10) – Betonfestigkeit.

<sup>23</sup> (Fachnormenausschuss, ÖNORM B 4202, Massivbau - Straßenbrücken) – Abschnitt 4.4. Festigkeiten.

### **Brückenausrüstung**

- Lager, Gelenke und Fahrbahnübergänge
- Fahrbahndecken und Gehwegbeläge
- Abdichtung und Entwässerung
- Randbalken
- sonstige Ausrüstung
- Besichtigungseinrichtungen

### **3.2.3 BEFUND VON BRÜCKENBAUWERKEN**

Als Ergebnis ist vom Prüfer auf Basis der Prüfergebnisse ein Befund zu erstellen in dem folgende Punkte enthalten sein müssen<sup>24</sup>:

- Funktionsfähigkeit und Belastbarkeit des Objektes im bisherigen Umfang
- erforderliche Maßnahmen aus Gründen der Sicherheit; Terminangabe für die Einleitung dieser Maßnahmen
- erforderliche Maßnahmen aus Gründen der Dauerhaftigkeit; Terminangabe für die Einleitung dieser Maßnahmen
- empfohlene Maßnahmen mit Begründung der Entscheidung
- besondere Prüfanweisung für die Kontrolle
- durchzuführende Sonderprüfungen
- Jahr der nächsten Prüfung

Die Sonderprüfungen sind bei Empfehlung entsprechend den Vorgaben der RVS<sup>25</sup> durchzuführen. Eine Terminangabe der Sonderprüfungen ist im Befund nicht erforderlich, jedoch erscheint es sinnvoll den nächst möglichen Termin<sup>26</sup> für eine Sonderprüfung vorzusehen.

Der Befund ist das Resultat der Brückenprüfung. Mit dem Befund wird die weitere Vorgangsweise zur Behebung der festgestellten Mängel geregelt.

---

<sup>24</sup> (Straßenwesen, Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, RVS 13.03.11 Straßenerhaltung - Überwachung, Kontrolle und Prüfung - Straßenbrücken) vgl. Kap. 5.9, Befund.

<sup>25</sup> (Straßenwesen, Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, RVS 13.03.11 Straßenerhaltung - Überwachung, Kontrolle und Prüfung - Straßenbrücken, 1995) vgl. Kap. 7, Geräte und Sonderprüfmethoden.

<sup>26</sup> Der nächste mögliche Termin wird aufgrund von Verkehrsaufkommen, Sperren, Anhaltungen Umleitungen und Witterung bestimmt.

### 3.3 SCHADENSKLASSEN DER ZUSTANDSBEURTEILUNG

Mit der Schadensklassifizierung wird ein allgemeiner Überblick über den Zustand des Bauwerkes dargestellt. Die Schadensklassen bieten eine quantitative Entscheidungshilfe für die erforderlichen Instandhaltungen oder Instandsetzungen. Die Einteilung erfolgt in fünf Schadensklassen und eine Sonderklasse. Die Klassifizierungen erfolgen im Zusammenhang auf die Tragsicherheit, den Veränderungen in der Nutzung, auf Dauerhaftigkeit und der Möglichkeit durch Instandsetzung des Mangels den Schaden vor dem Eintreten eines größeren Schadens wiederherzustellen.

In nachfolgender Tabelle sind die Schadensklassen für die Brückenbauwerke definiert:<sup>27</sup>, die vollständige Darstellung der Schadensklassen ist in Anlage 1 – Schadensklassen für das gesamte Brückenobjekt – ersichtlich.

STANDARDKLASSEN	
Klasse	Beschreibung
<b>1</b>	<b>keine Schäden</b> oder <b>sehr geringe Schäden</b> , - keine Instandsetzungsarbeiten erforderlich.
<b>2</b>	<b>geringe Schäden</b> , - Mangelbehebung/Reparatur durch den zuständigen Erhaltungsdienst.
<b>3</b>	<b>mittelschwere Schäden</b> , - Behebung und Beobachtung durch den zuständigen Erhaltungsdienst, ev. erforderliche Instandsetzung prüfen.
<b>4</b>	<b>schwere Schäden</b> , - Instandsetzungsmaßnahmen und spätesten Instandsetzungszeitpunkt festlegen.
<b>5</b>	<b>sehr schwere Schäden</b> , - umgehend Instandsetzungsmaßnahmen einleiten, ev. zeitweilige Nutzungsbeschränkung prüfen.

SONDERKLASSE	
Klasse	Beschreibung
<b>6</b>	<b>Totalschaden, sehr schwere Schäden</b> , - Unterstellung der Brücke und eine wesentliche Nutzungsbeschränkung oder Verkehrssperre durchführen.

Tabelle 1: Schadensklassen 1 - 6 für das gesamte Brückenobjekt<sup>28</sup>

<sup>27</sup> (Wicke, Straninger, Stehno, & Bergmeister, 1987) Verfahren zur Vorhersage des Umfanges von Brückensanierungen, Heft 338; vgl. Kap. 5.5.1, Klassifizierung eines Brückenobjektes.

<sup>28</sup> (Wicke, Straninger, Stehno, & Bergmeister, 1987) Verfahren zur Vorhersage des Umfanges von Brückensanierungen, Heft 338; vgl. Tabelle 5.6, Schadensklassen.

Die Bestimmung der Schadensklasse [S] erfolgt nach einem fixierten Schadenskatalog<sup>29</sup> in welchem die Grundkennzahlen[G] für den Schaden festgelegt sind. Diese Grundkennzahl bewertet den Schaden am Bauwerk und wird mit den Faktoren für Ausmaß [k1], Intensität [k2], Bauteil [k3] und Dringlichkeit [k4] multipliziert.

$$S = \sum (G * k1 * k2 * k3 * k4)$$

Formel 1: Beurteilungswert für das Gesamtbauwerk

In den Ausführungen der Schadensklassen wird ersichtlich, welche Maßnahmenintensität zur Behebung der Mängel eingesetzt werden muss. So sind bei der Schadensklasse 1 keine direkten Maßnahmen zu setzen.

Die Schadensklassen 2 und 3 weisen bereits Mängel auf, bei denen Maßnahmen getroffen werden müssen. In diesen beiden Klassen sind die Schäden so einzustufen, dass diese durch Instandhaltungsmaßnahmen, welche von betriebseigenem Personal der Straßenverwaltung durchgeführt werden, behoben werden können.

Bei den Schadensklassen 4 und 5 sind bereits Schäden vorhanden, die entweder in einem festgelegten Zeitraum oder bei Gefahr im Verzug unverzüglich behoben werden müssen. In diesem Fall der Behebung der Schäden sprechen wir von Instandsetzungsarbeiten, welche in Umfang, Intensität und auch Kosten wesentlich intensiver sind als Instandhaltungsarbeiten.

Die Schadensklassen haben primär keinen Einfluss auf die Berechnung der LZK, sie haben jedoch direkten Einfluss auf die erforderlichen Instandsetzungsintervalle.

---

<sup>29</sup> (Wicke, Straninger, Stehno, & Bergmeister, 1987) Verfahren zur Vorhersag des Umfanges von Brückensanierungen, Heft 338, siehe Kap. 5.5.2, Zustandsbeurteilung eines Brückenobjektes.



#### 4 PROBLEMATIK INSTANDHALTUNG VS. INSTANDSETZUNG

Um die Gebrauchstauglichkeit und die Verkehrssicherheit von Brückenbauwerken zu gewährleisten sind laufende Arbeiten notwendig, die als „Betrieb des Brückenbauwerkes“ bezeichnet werden. Der Betrieb eines Brückenbauwerkes wird bei den Brücken in Vorarlberg als „Instandhaltung oder Instandsetzung des Bauwerkes“ definiert und vom FB-BW, Abt. VIIb –Straßenbau koordiniert.

Die betrieblichen Aufgaben im allgemeinen Verständnis bilden im Wesentlichen die oberflächlichen Leistungen, wie z.B. reinigen der Tagwassereinrichtungen, Ausbesserung von Fahrbahnschäden, kleinflächige oberflächliche Betonsanierungen, Überprüfung von Sicherheitseinrichtungen und Verkehrszeichen, die im Zusammenhang mit dem Brückenbauwerk stehen, Beseitigung von Spurrinnen und Abplatzungen an der Fahrbahn, Winterdienste, etc. Diese Leistungen zählen zu den **Instandhaltungsmaßnahmen** und werden in einem bestimmten, nicht definierten Zeitraum bewerkstelligt (siehe 3.2.1 Überwachung von Brückenbauwerken). Die laufenden Instandhaltungsmaßnahmen dienen der Lebensverlängerung des Bauwerkes sowie dem Erreichen der Normlebenszeit. Sichtbare Schäden werden in einem festgelegten, meist saisonabhängigen Zeitraum beseitigt, somit sollten durch die Beseitigung der Mängel keine weiteren Folgeschäden entstehen können. Die Instandhaltungsmaßnahmen bewirken keine Zustandsverbesserungen beim Bauwerk, weil nur sichtbare Schäden, und diese im Regelfall nur oberflächlich, repariert werden, mit der Absicht eine weitere Schadensausbreitung zu verhindern oder die Schadensausbreitung zumindest zu verlangsamen. Die Qualität der Nutzbarkeit (Befahrbarkeit und Verkehrssicherheit) des Bauwerkes wird jedoch durch die Instandhaltungsmaßnahmen erhöht. Sämtliche Sanierungsmaßnahmen, welche von den Straßenmeistereien durchgeführt werden, werden in einem Formblatt dokumentiert und in die landeseigene Brückendatenbank<sup>30</sup> eingearbeitet.

Eine Zuordnung der Kosten von gleichartigen Maßnahmen ist nur bedingt möglich, da sich die Brücken in ihrer Höhenlage (Meereshöhe) und vor allem in der Nutzung durch den Verkehr (vor allem Schwerverkehr mit Nutzlasten bis 40t) stark unterscheiden. Eine definierte Maßnahme verursacht daher nicht immer den gleichen Sanierungsaufwand, d.h. es können keine eindeutigen Kosten den einzelnen, festgelegten Maßnahmen zugordnet werden.

Die **Instandsetzungsmaßnahmen** werden je nach Bauart und Nutzungsintensität des Bauwerkes, in unterschiedlichen, innerhalb eines bestimmten Zeitraumes meist definierten Zeitintervallen erforderlich (siehe 3.2.2 Kontrolle und Prüfungen von Brückenbauwerken). Bei Instandsetzungsmaßnahmen kann davon ausgegangen werden, dass es sich um erhebliche bauliche Eingriffe in das Bauwerk handelt. Im Regelfall werden die Eingriffe, die aus den Kontrollen des Brückenbauwerkes im Befund erfasst werden zu einer Instandsetzungsmaßnahme mit mehreren Untermaßnahmen zusammengefasst.

---

<sup>30</sup> Datenbank auf MS-ACCESS-Basis.

Maßnahmen bei Instandsetzungen können sein: Auswechslung von Fahrbahnübergängen, Erneuerung von Abdichtungen und Fahrbahnbelag, großflächige Betoninstandsetzungen etc.. Instandhaltungsmaßnahmen sind sehr kostenintensiv, führen aber zu einer gesamthaften Zustandsverbesserung des Bauwerkes. Der ursprüngliche Ausgangszustand (100% des Neubauzustandes) kann jedoch nicht mehr erreicht werden.

Eine genaue Beschreibung der Aufgaben für die Erhaltung von Landesstraßen, Brücken, Mauern, Tunnel etc. sind in der RVS 12.01.12<sup>31</sup> detailliert beschrieben.

#### 4.1 INSTANDHALTUNG

Grundsätzlich sprechen wir bei der Instandhaltung von oberflächlichen Maßnahmen, welche im Regelfall zu keiner Zustandsverbesserung des Bauwerkes führen. Die Instandhaltung erhält die Gebrauchstauglichkeit und die Verkehrssicherheit des Bauwerkes. Sämtliche Instandhaltungsmaßnahmen sind entsprechend den Vorgaben der Abt. VIIb – Straßenbau des Landes Vorarlberg zu dokumentieren. Somit können die Überwachungs- und Kontrollintervalle jederzeit nachgewiesen werden.

Die Abwicklung der Instandhaltungsarbeiten hat sich in den letzten Jahren wesentlich verbessert. So können durch verbesserte Prüfmethoden<sup>32</sup> und normierte Zustandsbeurteilungen gezielt Maßnahmen in der Instandhaltung gesetzt werden und der allgemeine Zustand des Bauwerkes gehalten werden. Des Weiteren werden für ähnliche Brückentypen Wartungs- und Instandhaltungskonzepte erstellt, damit die Bauwerke den bestmöglichen technischen Zustand erreichen und den Anforderungen an die Verkehrssicherheit entsprechen.

Die Instandhaltungsarbeiten werden in Vorarlberg durch die Straßenmeistereien meistens selbst durchgeführt. Fremdvergaben erfolgen nur für personalintensive Arbeiten, welche meist saisonbedingt sind und über die Brückenbauwerke hinausreichen (Winterdienste, Grünflächendienst, Reinigung der Entwässerungsanlagen).

Die Abwicklung der Arbeiten durch eigenes Personal hat den Vorteil, dass das firmeneigene Know-how im Rahmen der Wartung und Instandsetzung erhalten und ausgebaut wird, das eigene Personal die Schwächen der Bauwerke besser kennt und daher schnell und gezielt Maßnahmen zur Behebung der Mängel gesetzt werden können. Nachteilig zeigt sich bei der Eigeninstandhaltung der Aufwand der Haltung von Spezialwerkzeugen zur Untersuchung der Brücken, welche witterungsbedingt nur in den trockeneren Jahreszeiten ihren Einsatz finden und daher lange Stillstandzeiten aufweisen.

---

<sup>31</sup> (Straßenwesen, Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, RVS 12.01.12 Standards in der betrieblichen Erhaltung von Landesstraßen, 1. Juni 2008) siehe Kap. 4, Brücken und Mauern.

<sup>32</sup> Verbesserte Prüfmethoden zeichnen sich dadurch aus, dass sie zerstörungsfrei an der Bauwerksoberfläche zur Prüfung der Anlagenteile und Werkstoffe eingesetzt werden können.

Fremdvergaben bei Instandhaltungsmaßnahmen haben den Nachteil, dass weiterhin ausgebildetes Überwachungspersonal beigestellt werden muss, das Know-How langfristig verloren geht und Kosten für das Überwachungspersonal anfallen.

Die Instandhaltungsmaßnahmen verursachen jedoch nicht nur Kosten sondern ermöglichen auch den Werterhalt des Bauwerkes auf längere Sicht zu sichern.

#### 4.1.1 MAßNAHMEN DER INSTANDHALTUNG

Die Instandhaltung umfasst gemäß DIN 31051 alle "Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Sollzustandes sowie zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes von technischen Mitteln eines Systems"<sup>33</sup>. Die Maßnahmen werden definitionsgemäß untergliedert in:

- Wartung: Die Wartung dient der Bewahrung des Sollzustandes, die Funktionsfähigkeit der Anlagenteile wird erhalten.
- Inspektion: Durch die Inspektion wird der derzeitige Istzustand festgestellt, die jeweiligen Funktionsfähigkeiten der Anlagenteile werden zustandsbeurteilt, das Bauwerk gesamthaft wird einer Schadensklasse zugeordnet.
- Verbesserung: Bei der Verbesserung wird durch Eingriffe (meist punktuell) der Zustand des Bauwerkes verbessert. Die Funktionsfähigkeit einzelner Anlagenteile wird verbessert. Eine gesamthafte Verbesserung des Bauwerkes wird im Normalfall nicht erreicht.

Durch die Instandhaltungsmaßnahmen wird sichergestellt, dass die Funktionsfähigkeit der einzelnen Anlagenteile sowie die Gebrauchstauglichkeit und die Verkehrssicherheit des Bauwerkes über das ganze Jahr hinweg erhalten bleibt, oder bei Ausfällen von Anlagenteilen durch Abnutzung oder Witterungseinflüsse sofort Reparaturen durchgeführt werden. Dadurch wird der Alterungsprozess von Anlagenteilen des Bauwerks, hervorgerufen durch die Abnutzung und Abwitterung, verlangsamt. Durch laufende Instandhaltungsmaßnahmen wird eine optimale Nutzungsdauer der Brücke erreicht, bei sachgerechter Instandhaltung kann die theoretische Lebensdauer erhöht werden. Durch die laufenden Instandhaltungsmaßnahmen wird gleichzeitig die Gebrauchstauglichkeit und Verkehrssicherheit verbessert.

Die Instandhaltungsarbeiten haben auch vorbeugende Wirkung, so können Mängel bereits frühzeitig erkannt und weitere Schäden am Bauwerk verhindert werden. Damit sind die Eingriffe der Instandhaltung meist geringer und benötigen auch weniger Zeit. Der Verkehr wird dadurch nur geringfügig behindert und die Verkehrssicherheit steigt.

---

<sup>33</sup> (Fachnormenausschuss, DIN 31051:2003-06 Grundlagen der Instandhaltung, 2003)

Die **Wartung** wird in regelmäßigen Abständen durch fachkundiges betriebseigenes Personal bewerkstelligt. Sie wird gleichzeitig mit den periodischen Überwachungsarbeiten am Bauwerk durchgeführt. Wartung und periodische Überwachung stehen daher in direktem Zusammenhang, d.h. alle Anlagenteile werden überwacht. Durch regelmäßige Wartung von Anlagenteilen wie Entwässerung, Fugen und Fahrbahnübergänge wird die Betriebssicherheit und Verkehrssicherheit erhöht, Störungen der Anlagen reduziert und in weiterer Folge auch Kosten für Instandsetzungsmaßnahmen verringert oder auf spätere Zeitpunkte verschoben. Im Zuge der Wartung kann es auch zum Ersatz von defekten kleineren Bauteilen kommen, diese werden dann im Zuge der regelmäßigen Wartungsarbeiten vom Betriebspersonal ersetzt. Sämtliche Wartungsarbeiten und noch weiterhin bestehende Mängel müssen im Brückenhandbuch dokumentiert werden. Bei der Wartung, die die Behebung von kleinen Mängeln vorsieht kann dann von Instandsetzungsmaßnahmen gesprochen werden.

Die **Inspektion** beinhaltet die „laufende Überwachung“ und „periodische Überwachung“ sowie die „Kontrolle“ und die „Kontrollprüfung“ von Straßenbrücken. Bei der Überwachung wird die Funktionalität der Anlagenteile der Brücke festgestellt. Es erfolgt eine oberflächliche Prüfung, daher können nur äußerliche Schäden festgestellt werden. Die Überwachungsfahrten werden von der Straßenmeisterei in regelmäßigen Abständen durchgeführt, jedoch mindestens alle vier Monate. Werden bei diesen Überwachungsfahrten Mängel festgestellt so werden diese umgehend gemeldet und weitere Veranlassungen getroffen, um die Verkehrssicherheit zu gewährleisten. (siehe Kap. 3.2 Überwachung, Kontrolle und Prüfung der Bauwerke)

Die **Verbesserungen** am Brückenbauwerk zählen ebenfalls zu den Instandhaltungsmaßnahmen. Verbesserungen zeichnen sich dadurch aus, dass sie durch administrative und/oder technische Maßnahmen notwendig werden.

Zu den administrativen Verbesserungen zählen Maßnahmen, die zur Erhöhung der Verkehrssicherheit beitragen.

Beispiele sind: Leiteinrichtungen zur eindeutigen Trennung der Fahrbahnen (Reflektoren in der Fahrbahnmittle), Montage von Verkehrszeichen, optische Trennung von Gehweg und Fahrbahn durch Farbmarkierung, etc.

Die Funktion der Brücke wird bei administrativen Verbesserungen nicht verändert.

Technische Verbesserungen erfolgen meist durch geänderte Anforderungen an die Tragfähigkeit und Leistungsfähigkeit welche Verbreiterungen und Tragwerkverstärkungen zur Folge haben. Technische Verbesserungen erfordern meist einen massiven baulichen Eingriff, der zu Behinderungen in der Verkehrsabwicklung führt.

Meistens werden sicherheitstechnische Verbesserungen für die Benutzer der Brücke durchgeführt. Sicherheitstechnische Verbesserungen können sehr vielfältig sein und setzen sich zusammen aus administrativen und technischen Verbesserungen. (Beispiel: Trennung von nichtmotorisiertem und motorisiertem Verkehr durch Verbreiterungen, beleuchtete Leiteinrichtungen zur Fahrbahntrennung etc.)

#### 4.1.2 UNTERSCHIEDUNGEN INNERHALB DER INSTANDHALTUNG

Die Instandhaltung umfasst Maßnahmen, welche die Abnutzung des Bauwerkes verlangsamen, die Gebrauchstauglichkeit und die Verkehrssicherheit erhalten, ohne den allgemeinen Zustand des Bauwerkes zu verbessern. Neben den Maßnahmen, die bei der Instandhaltung getroffen werden, werden die zu erbringenden Leistungen in eine betriebliche Instandhaltung und in eine bauliche Instandhaltung<sup>34</sup> unterschieden.

Die **betriebliche Instandhaltung** wird ausschließlich durch betriebseigenes Personal durchgeführt. Die betriebliche Instandhaltung umfasst alle Maßnahmen, die der Erhaltung der Verkehrssicherheit und der oberflächlichen Erhaltung der Bausubstanz dienen. Beispiele sind die umgehende Behebung von Fahrbahnschäden, Reparaturen und Erneuerungen am Bauwerk oder an Leiteinrichtungen, die durch Frost oder Unfälle verursacht wurden, Reinigungs- und Wartungsarbeiten an den konstruktiven Teilen wie Fahrbahnübergänge und Brückenlager.

Die **bauliche Instandhaltung** wird meistens durch betriebseigenes Personal durchgeführt. Sie umfasst kleinere Reparaturen und notwendige Ausbesserungen am Bauwerk. Als notwendige Ausbesserungen gelten Betonausbesserungen (kleinflächige Abplatzungen), entfernen von Graffiti, nachbessern des Korrosionsschutzes bei Lagern, Fahrbahnübergängen und Stahlbauteilen.

In den ersten Jahren nach der Errichtung des Bauwerkes wird daher mehr von der betrieblichen Instandhaltung gesprochen. Mit zunehmendem Alter nehmen die Schäden durch Abnutzung, verdeckte Baumängel und wechselnde Witterungseinflüsse<sup>35</sup> stetig zu und es werden zunehmend bauliche Instandhaltungen notwendig. Eine genaue Abschätzung, zu welchem Zeitpunkt die baulichen Instandhaltungen erforderlich werden, kann nicht genau präzisiert werden. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass ab dem fünften Jahr nach Verkehrsfreigabe die baulichen Instandhaltungsleistungen vermehrt durchgeführt werden müssen.

---

<sup>34</sup> (Schach, Otto, Häupl, & Fritsche, August 2006) Lebenszykluskosten von Brückenbauwerken; vgl. Kap. 4.3, Leistungen der Zustandserhaltung.

<sup>35</sup> Die Witterung wirkt sich im Sommer auf den Tag-Nacht wechsel aus, und über den Jahreszeitenwechsel Sommer-Winter. Während im Sommer die Oberflächentemperaturen bis zu 60°C erreichen und auf das Bauwerk einwirken sind im Winter in Extremlagen Temperaturen bis -25°C und teilweise darüber keine Seltenheit.

## 4.2 INSTANDSETZUNG

Die Instandsetzung beinhaltet Maßnahmen zur Behebung von Schäden und Mängeln an Bauwerken<sup>36</sup>. Die Instandsetzung gliedert sich in den Bereich Reparaturen und in die Instandsetzung selbst. Die beiden Begriffe werden wie folgt definiert:

**Reparatur:** Bei der Reparatur wird ein defekter Anlagenteil in seine ursprüngliche Funktionalität zurückversetzt.  
Beispiel: Die Gängigkeit des Fahrbahnüberganges ist nicht mehr gewährleistet → Teile werden ausgetauscht.

**Instandsetzung:** Bei der Instandsetzung wird durch aktives Handeln der Sollzustand wiederhergestellt und erfolgt als vorbeugende Maßnahme.  
Beispiel: Fahrbahnübergang ist laut und weist Absätze auf (mögliche Verschleißerscheinungen) → der Fahrbahnübergang wird komplett ausgetauscht.

Durch **Reparatur** und **Instandsetzung** erfolgt das Ersetzen von geschädigten Teilen mit funktionsfähigen Teilen bzw. der Austausch der gesamten Bauteileinheit. Die Lebensdauer von Anlagenteilen kann jedoch bei entsprechender Wartung (vgl. 4.1 Instandhaltung) wesentlich verlängert werden.

Die Instandsetzungsmaßnahmen erfolgen in regelmäßigen Zeitabständen. Diese zyklischen Instandsetzungsmaßnahmen sind von Bauteil zu Bauteil unterschiedlich. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass witterungsgeschützte Bauteile wie Fundamente, Widerlager und Schleppplatte, sowie vor Abnutzung geschützte Bauteile, wie Asphalttragschicht, Abdichtung und Tragwerk, eine längere Lebensdauer aufweisen, als Bauteile, die der ständigen Abnutzung und Abwitterung ausgesetzt sind. Aus diesem Grunde wird die theoretische Nutzungsdauer bei jedem Bauteil unterschiedlich lange angenommen.

Zur Veranschaulichung haben Widerlager und Fundamente aus Beton eine Lebensdauer von 100-110 Jahren. Bei Asphaltdeckbelägen liegt die durchschnittliche Lebensdauer bei 12-15 Jahren (Bergstraßen mit Kettenpflicht in den Wintermonaten max. 5-10 Jahre). Das bedeutet, dass der Asphaltdeckbelag im Laufe des Lebenszyklus einer Brücke mehrmals ausgetauscht werden muss.

Im Gegensatz zu Instandhaltungsmaßnahmen führen Instandsetzungsmaßnahmen zu einer Zustandsverbesserung, wie aus dem angeführten Beispiel mit dem Deckbelag ersichtlich ist. Zeitgerechte Instandsetzung hat auch wesentliche Auswirkungen auf die Betriebsdauer. Werden Instandsetzungen zu einem Zeitpunkt durchgeführt, an welchem die darunterliegenden Bauteile noch keinen Schaden genommen haben, kann die theoretische Nutzungsdauer der darunterliegenden Bauteile sogar überschritten werden. Mit der Instandsetzungsmaß-

---

<sup>36</sup> (Jodl, Jurecka, Schranz, & D., 2008) Programmentwicklung Lebenszykluskosten von Brücken (LZKB), Teil 1 – Anforderungen; vgl. Kap. 4.2.1.3, Instandsetzung.

nahme wird die annähernd vollständige Funktionsfähigkeit des Bauteiles, bei qualitativ hochwertigem, dem Stand der Technik entsprechenden Einbau, wieder hergestellt.

Bei den Instandsetzungen wird unterschieden in welchem Bauteil die Maßnahme stattfindet. Die Aufteilung erfolgt nach den in der Zustandsbeurteilung festgelegten Bauteilen: Unterbau, Überbau (Tragwerk) und Ausrüstung (siehe Pkt. 3.2.2 Kontrolle und Prüfungen von Brückenbauwerken).

Der **Unterbau** ist jener Bauteil mit der längsten Nutzungsdauer. Er trägt das Bauwerk, die Fundamente sind geschützt und die aufgehenden Bauteile werden meist technisch überdimensioniert, damit diese länger erhalten bleiben. Grundsätzlich ist die Lebensdauer im Besonderen abhängig von der Sorgfalt bei der Auswahl der verwendeten Baustoffe und der Qualität der Errichtung. Schäden am Unterbau können nur mit einem erheblichen Kostenaufwand saniert werden.

Die Nutzungsdauer des **Tragwerkes** ist abhängig von den laufenden Instandsetzungen und deren Ausführungsqualität. Der Zustand des Tragwerks ist von entscheidender Bedeutung für die Gesamtlebensdauer.

Die **Ausrüstung** der Brücke hat die geringste Lebensdauer, bewegt sich jedoch je nach Einzelbauteil zw. 12-35 Jahren. Zur Ausrüstung einer Brücke zählen Lager, Fahrbahnübergänge, Abdichtung mit Schutzschichten, Randbalken, Schutzeinrichtungen, Schrammborde, Geländer, Brüstungen, Spritzschutz, Blendschutz, Berührungsschutz, Schutzdächer, Beleuchtung, Beläge etc. Jeder dieser Bauteile besitzt eine unterschiedliche Lebensdauer<sup>37</sup>.

Bei Instandsetzungsmaßnahmen wird darauf geachtet, dass bei jeder Maßnahme mehrere Bauteile, welche sich im kritischen oder gerade noch funktionsfähigen Zustand befinden, gleichzeitig ausgetauscht werden.

Instandsetzungsmaßnahmen sind der kostenintensivste Teil für die Erhaltung von Brückenbauwerken. Sie sind jedoch zwingend erforderlich, wenn die angestrebte Nutzungsdauer über mehrere Jahrzehnte erreicht werden soll. Die erforderlichen Maßnahmen der Instandsetzung unterscheiden sich nach Art und Umfang je nach Bauwerkszustand, diese wiederum orientieren sich an der Einordnung in die jeweiligen Schadensklassen (siehe Pkt. 3.3 Schadensklassen der Zustandsbeurteilung). Instandsetzungsmaßnahmen verursachen in der Regel Behinderungen im Straßenverkehr, was neben der technischen Planung auch eine administrative Planung erfordert.

---

<sup>37</sup> (ÖBB, 2006) Richtlinie zur Berechnung der Erhaltungskosten und Ablösungsbeträge von Ingenieurbauwerken, Straßen und Wegen; Beilage 1 zu Teil A, Zusammenstellung der theoretischen Nutzungsdauern und der Prozentsätze der jährlichen Unterhaltungskosten.

#### 4.3 ZIELE VON INSTANDHALTUNGS- UND INSTANDSETZUNGSMASSNAHMEN

Der überwiegende Teil von Investitionen an einem Bauwerk fällt während der Betriebsphase an, das heißt, sie werden von den Kosten der Instandhaltungs- und Instandsetzungsphase bestimmt. Unmittelbar nach Verkehrsübergabe sind die geringsten Kosten zu erwarten, jedoch steigen diese kontinuierlich mit zunehmendem Alter des Bauwerkes an. Durch zeit- und zielgerechte Maßnahmen kann die Nutzungsdauer, durch gleichzeitigen Schutz der darunterliegenden Bauteile erhöht werden. Es ist darauf zu achten, dass vorausschauende Wartungsmaßnahmen erfolgen. Die Maßnahmen sollen vor dem Eintreten eines Schadens erkannt, bewertet und entsprechend dem Maßnahmenerfordernis am Bauwerk entsprechend umgesetzt werden. Ebenfalls können Kostenersparnisse durch Synergieeffekte erreicht werden, wenn die erforderlichen Handlungen baulicher und verkehrstechnischer Art aufeinander abgestimmt werden. Voraussetzung für alle Handlungen am Brückenbauwerk ist die qualitativ hochwertige Ausführung der erforderlichen Maßnahmen sowie die bereits vorangegangene qualitativ hochwertige Errichtung des Bauwerkes. Instandhaltungsmaßnahmen verlängern den aktuellen Beurteilungszustand der Brücke. Instandsetzungsmaßnahmen verbessern den Gesamtzustand des Bauwerkes, wenngleich der ursprüngliche Zustand nach der Erstprüfung nicht mehr erreicht werden kann.

Zusammenfassend können die Ziele wie folgt genannt werden:

- Überwachung und Kontrolle zur frühzeitigen Erkennung des Gesamtzustandes
- Lange Nutzungsphase durch zielorientierte Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen
- Kostenoptimierung bei der Erhaltung durch Zusammenlegen mehrerer Maßnahmen an einem Bauwerk
- „Lebensdauermaximum und Kostenminimum“ = Nachhaltigkeit
- Schonung der Umwelt durch Einsparung von Kosten und Ressourcen



## 5 LEBENSZYKLUS VON BRÜCKENBAUWERKEN

Die Erhaltung der Bausubstanz, der Anlagenteile und Ausrüstung an Brückenbauwerken gewinnt zunehmend an Bedeutung. Zum einen bilden Brücken oft die einzige Verbindung zu Orten in alpinen Gegenden ohne große Umwege fahren zu müssen, andererseits müssen Brücken der ständigen Zunahme des Verkehrs gewachsen sein. Die Gebrauchstauglichkeit und die Verkehrssicherheit müssen dadurch dauerhaft gewährleistet bleiben.

Durch die ständig steigende Verkehrsdichte, die Zunahme des Schwerlastverkehrs und damit auch verbunden die steigenden Achslasten im Zusammenhang mit höheren Gesamtgewichten für Sonderfahrzeuge steigt die Belastung von Brücken stark an. Die stetigen Lastwechsel vor allem von Schwerfahrzeugen sowie die Witterungseinflüsse führen zu einer rascheren Alterung in der Struktur des Bauwerkes und den oberflächlichen Anlagenteilen. Um der Alterung entgegenzuwirken sind somit laufende Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich, gleichzeitig steigen mit zunehmendem Alter des Bauwerkes die Instandhaltungs- und Instandsetzungskosten. Nach Ablauf der Gesamtnutzungsdauer ist der Zeitpunkt erreicht, an dem weitere Maßnahmen zur Erhaltung des Bauwerks die Summe der laufenden Instandhaltungskosten und den notwendigen Instandsetzungskosten am Bauwerk nicht mehr rechtfertigt. Es ist dann der Zeitpunkt erreicht, den Ersatz des Bauwerkes einzuplanen, was im allgemeinen Verständnis des Straßenbaues den Abbruch und eine Neuerrichtung des Brückenbauwerkes an derselben Stelle bedeutet<sup>38</sup>.

Im Zusammenhang mit der Erhaltung der Bausubstanz tritt auch immer mehr die Wirtschaftlichkeit der geplanten Erhaltungsmaßnahmen in den Vordergrund.

Das Hauptaugenmerk der Wirtschaftlichkeit umfasst die Kriterien der gesamtheitlichen Betrachtung von Konstruktion und den eingesetzten Anlagenteilen sowie der Ausrüstung des Bauwerks, der Möglichkeiten einen erleichterten Zugang zu Anlagen- und Ausrüstungsteilen bei Instandhaltungs- und Instandsetzungsarbeiten, der Dauerhaftigkeit der eingesetzten Materialien und der vollen Funktionserfüllung im Sinne der Gebrauchstauglichkeit und der Verkehrssicherheit. Diese Kriterien bilden eine Einheit und stehen in einer direkten Abhängigkeit zueinander.

Bei der Umsetzung von Brückenprojekten müssen diese Kriterien als „das große Brückenkriterium“ gewertet werden. So muss bereits in der Planungsphase bei den Konstruktionen der einzelnen Bauteile auf die zukünftig zu erwartenden Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen Rücksicht genommen werden. Ebenfalls berücksichtigt werden muss die Verkehrsführung bei der Errichtung und Erhaltung des Bauwerkes. Weiters ist die Qualität der Ausführung für die Dauerhaftigkeit der Bauteile, sowie die Qualität der eingesetzten Baumaterialien von entscheidender Bedeutung. Auch die Dimensionierung auf Basis der Lastwechselanahmen, der Verkehrsbelastung und deren Steigerungsraten und die Berücksichtigung der geographischen Lage ist so zu wählen, dass die zugewiesene Funktion der Brücke erreicht und

---

<sup>38</sup> (Krauss, Instandsetzung oder Erneuerung, 2004) vgl. S. 570 Pkt. 1., Einleitung.

die Verkehrssicherheit für ihre Benutzer jederzeit gewährleistet ist. Unter Einhaltung dieser Kriterien ist ein möglichst wirtschaftliches Bauwerk zu planen, zu errichten und zu erhalten.

Die Ausrichtung des Handelns nach dem Grundsatz der Wirtschaftlichkeit und der Sparsamkeit erfordert die bestmögliche Nutzung der vorhandenen aber stets knappen Personal-, Sach- und Finanzmittel. Ökonomisch gesehen gilt es entweder ein bestimmtes Ergebnis mit möglichst geringem Einsatz von Mitteln (Sparsamkeitsprinzip) oder bei einem bestimmten Einsatz von Mitteln das jeweils bestmögliche Ergebnis zu erreichen (Ergiebigkeitsprinzip)<sup>39</sup>.

Die Wirtschaftlichkeit eines Brückenbauwerkes ist daraus folgend nicht nur dann gegeben, wenn die Baukosten gering sind. Vielmehr sind für den Lebenszyklus der Brücke alle relevanten Kosten, beginnend bei der Planung, den Aufwendungen für Instandhaltung und Instandsetzung sowie dem Abbruch des Bauwerkes einzurechnen.

Wirtschaftlichkeit wird dann erreicht, wenn mit einem vertretbaren Mitteleinsatz über den Lebenszyklus eine möglichst lange Nutzungsdauer der Straßenbrücke erreicht wird.

#### 5.1 LEBENSZYKLUSMODELL

Das Lebenszyklusmodell einer Brücke soll eine nachhaltige Planung unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus der Errichtung, des Betriebs und des Abbruchs ermöglichen. Die Abbruchphase beendet normalerweise das Lebenszyklusmodell. In Vorarlberg werden kaum noch neue Verkehrswege und die dadurch erforderlichen Brücken errichtet. I.d.R. werden bestehende Brücken abgebrochen und neu errichtet. Der Abbruch fällt daher unmittelbar vor die Bauphase. Beim nachfolgenden Lebenszyklusmodell wird der Abbruch am Ende des Lebenszyklus berücksichtigt.

Die einzelnen Handlungen Errichtung-Betrieb-Abbruch sollen in einzelnen Phasen analysiert, deren Folgewirkungen bestimmt und in den weiteren Projektphasen Eingang finden.

Das Lebenszyklusmodell wird in mehrere Projekts- und Arbeitsphasen aufgeteilt, wobei in jeder Phase Kosten in unterschiedlicher Höhe anfallen. Die einzelnen Lebensphasen eines Brückenbauwerkes werden im nachfolgenden Modell beschrieben.

Der Kreislauf des Lebenszyklus beginnt mit der Projektentwicklungsphase und der Grundlagenerfassung. Im Anschluss folgt die Planungsphase, in welcher das Projekt konkretisiert wird und zur Ausführungsreife gelangt. Danach erfolgt die Errichtungsphase, welche vorerst die meisten Kosten verursacht. Die Betriebsphase ist der längste Vorgang, ihm folgt dann die Abbruchphase (siehe Abb. 5: Lebensphasen einer Brücke).

Nachdem das Bauwerk alle diese Phasen durchlaufen hat, wird auf Grundlage neuer projektrelevanter Daten und Erkenntnissen aus der Produktentwicklung und dem Betrieb die Projektentwicklung wieder aufgenommen und der Prozess kann von neuem beginnen.

---

<sup>39</sup> (Krauss, 2004), Instandsetzung und Erneuerung, vgl. S 571, Pkt. 2., Allgemeines.

#### 5.1.1 LEBENSZYKLUSMODELL, VERGLEICH PRODUKTLEBENSZYKLUS-BAUWERKSLEBENSZYKLUS

Der Lebenszyklus eines Bauwerkes verläuft in ähnlicher Weise dem Produktlebenszyklus eines marktfähigen Gutes. Die erforderlichen Maßnahmen zur Errichtung können direkt mit der Produkt- und Programmgestaltung verglichen werden<sup>40</sup>.

Die Produktinnovation wird unter anderem bestimmt durch einen mehrphasigen Prozess zur Gewinnung von Produktideen, ähnliche Phasen durchläuft ein Projekt in der Vorprojektphase in welcher mehrere Varianten entwickelt und miteinander verglichen werden.

Eine Produktdifferenzierung bei Brücken findet nur in geringem Maße statt, da in der Regel für die Region bewährte Brückentypen eingesetzt werden. Zur Produktdifferenzierung kann es durchaus dann kommen, wenn aus gestalterischen oder landschaftlichen Gründen eine architektonische Anpassung des Bauwerkes erfolgen muss, um die Eingriffe in die Natur möglichst gering zu halten.

Die Produktvariationen können mit den Instandsetzungsmaßnahmen verglichen werden. Das Bauwerk wird bei Instandsetzungsmaßnahmen grundsätzlich nicht verändert, um die Maßnahmen möglichst kostengünstig zu halten. Durch die Eingriffe erfolgen vor allem Verbesserungen bei den eingesetzten Materialien. Es kann vorkommen, dass aus verkehrstechnischen Gründen „Produktvariationen“ (siehe 4.2 Instandsetzung) zur Verbesserung der Verkehrssicherheit erfolgen müssen. Produktvariationen bei Brückenbauwerken setzen immer ein technisches Erfordernis voraus.

Die Produktelimination beschreibt den Prozess des Abbruches.

Zwischen der Projektentwicklung (*Produktinnovation*) und dem Abbruch (*Produktelimination*) durchläuft ein Brückenbauwerk im Regelfall dieselben charakteristischen Phasen, die in der Literatur der Betriebswirtschaftslehre als Produktlebenszyklus bezeichnet werden.

- *Einführungsphase - Projektentwicklungsphase*
- *Wachstumsphase - Planungsphase*
- *Reifephase- Bauphase*
- *Sättigungsphase - Betriebsphase*
- *Degenerationsphase - Abbruchphase*

Die in der Kurve eingeschlossene Fläche bezeichnet im Falle der betriebswirtschaftlichen Interpretation den Gesamtumsatz des Marktes für ein Produkt, ohne Berücksichtigung weiterer Produktvariationen<sup>41</sup>.

Im Falle des Brückenlebenszyklus zeigt die Kurve als Vereinfachung den Zustandswert über die Lebensdauer der Brücke an.

---

<sup>40</sup> (Peters, R.Brühl, & J.Stelling, 2005) Betriebswirtschaftslehre – Einführung, siehe. Pkt. 551., Produkt- und Programmgestaltung.

<sup>41</sup> (Peters, R.Brühl, & J.Stelling, 2005) Betriebswirtschaftslehre – Einführung, vgl. S. 148f.

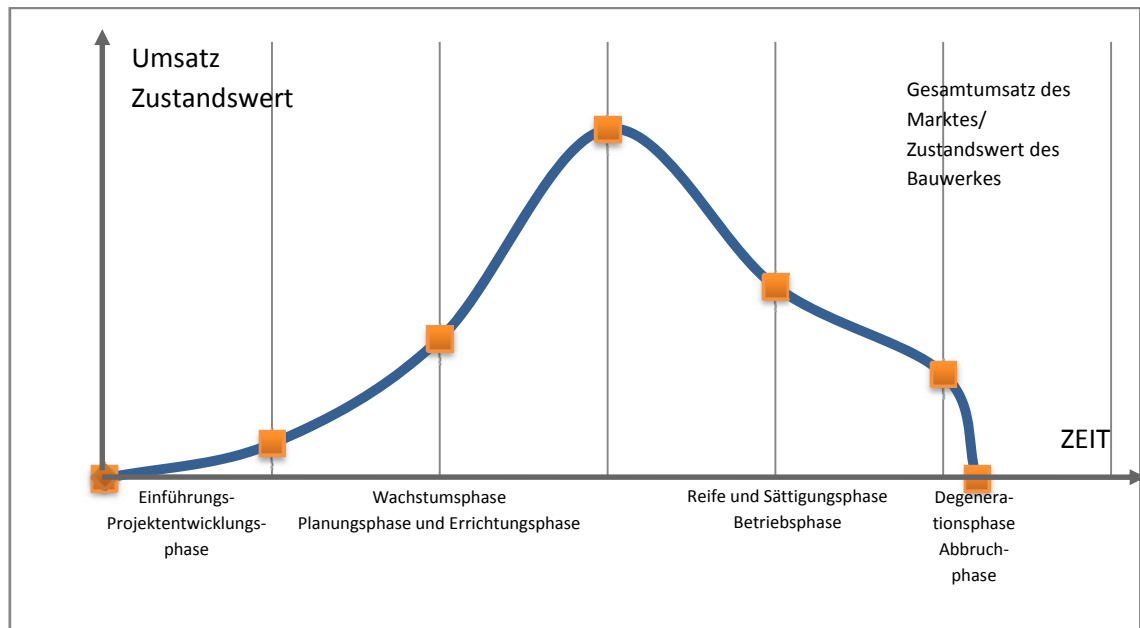


Abb. 2: Produktlebenszyklus vgl. (Peters, R.Brühl, & J.Stelling, 2005) siehe Seite 148

Vergleich der Merkmale<sup>42</sup> der einzelnen Phasen des Lebenszyklus eines marktfähigen Gutes und eines Brückenbauwerkes.

<b>Einführungsphase</b>	<b>Projektentwicklungsphase</b>
Der Umsatz steigt langsam an. Mit Ende der Phase wird die Gewinnschwelle überschritten, d.h. die insgesamt aufgelaufenen Kosten werden durch die Erlöse gedeckt.	Geringe Kosten in der Entwicklungsphase, mit Entscheidung über die endgültige Variante steigen die Kosten.
<b>Wachstumsphase</b>	<b>Planungsphase</b>
Der Umsatz steigt an, sofern das Produkt kein „Flop“ ist. Konkurrenten kommen auf den Markt. Der Gewinn erreicht sein Maximum und fällt wieder ab. Die Phase endet im Wendepunkt der Umsatzkurve.	Der Aufwand für die Planung steigt, es folgen Detailplanung und Ausführungsplanung für die Errichtungsphase.
	<b>Errichtungsphase</b>
	Die Errichtung erfordert auf den Zeitraum betrachtet die meisten Mittel. Der Zustand des Bauwerkes erhält sein Maximum.
<b>Reifephase</b>	<b>Betriebsphase</b>
Der Umsatz steigt immer langsamer und erreicht sein Maximum. Der Gewinn sinkt weiter ab.	Für die Erhaltung der Verkehrs- und Standsicherheit ist ein laufender Aufwand der Erhaltungsarbeiten erforderlich. Trotz ständiger Erhaltungsmaßnahmen nimmt der Zustandswert des Bauwerkes laufend ab.
<b>Sättigungsphase</b>	
Der Umsatz sinkt. Ebenso sinkt der Gewinn weiter und erreicht am Ende der Phase die Verlustschwelle.	
<b>Degenerationsphase</b>	<b>Abbruchphase</b>
Der Umsatz sinkt weiter stark ab, es werden Verluste mit dem Produkt erwirtschaftet.	Der Gesamtzustand des Bauwerkes nimmt weiter ab, ein Abbruch ist unumgänglich.

Tabelle 2: Vergleich Tabelle Lebenszyklusmerkmale

<sup>42</sup> (Olfert & Oeldorf, 2004) Materialwirtschaft, Kompendium der praktischen Betriebswirtschaft; vgl. S 98, Value Analysis.

Die Kosten in der Projektentwicklungsphase sind von der Anzahl der Variantenuntersuchungen abhängig. In der Planungsphase verursachen neben der technischen Planung, erweiterte Gutachten, Behördenverfahren und Planungsänderungen den größten Anteil der Kosten. Die Kosten aus der Projektentwicklungsphase und der Planungsphase stellen im Verhältnis zu den Gesamtkosten des Bauwerkes einen geringen Anteil dar. Sie wirken sich über die Lebensdauer einer Brücke nur geringfügig aus. Zu beachten ist dabei, dass die Entscheidung, welche Variante in die Planungsphase eingehen soll, auf die Kosten der Ausführung und Qualität der Brücke einen wesentlichen Einfluss ausüben kann. Zudem ist zu beachten, dass die Kosten je nach Brückentyp unterschiedlich hoch sein können. Aufgabe ist es auch die Kosten für die Errichtung abzuschätzen. Die Errichtungskosten werden in der Projektentwicklungsphase grob und in der Planungsphase detailliert ermittelt und stellen für alle weiteren Bearbeitungsschritte eine berechenbare Größe dar. Die Kosten für den Betrieb können zum Zeitpunkt der Planung nur grob geschätzt werden.

Die Errichtungskosten stellen die „erste“ große Investition dar. Sie umfassen alle Leistungen bis zur Verkehrsfreigabe, inklusive den nachfolgenden Restarbeiten und Garantiarbeiten. Für die Publizierung der Kosten in den Medien stellen die Errichtungskosten die maßgebende Größe dar.

Ein wesentlich diffizileres Problem stellt die Betriebsphase dar. Sie umfasst die Instandhaltungs- und die Instandsetzungsarbeiten. Diese gesetzten Maßnahmen dienen dazu, die Verkehrssicherheit und die Gebrauchstauglichkeit zu erhalten, damit die theoretische Nutzungsdauer erreicht werden kann. Eine Berechnung der Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen ist zum Zeitpunkt der Planung und Errichtung sehr schwierig und wird von der Literatur<sup>43, 44</sup> sehr unterschiedlich bewertet. Als Wert wird über die Lebensdauer der 1fache bis 2,5fache Wert der Errichtungskosten angegeben. Die Schwankungsbreite für die Betriebskosten über die Nutzungsdauer ist daher sehr hoch.

Die Abbruchkosten werden in einer Größe von 20% der Errichtungskosten bewertet<sup>45</sup>. Bei aufwendigeren Bauwerken bzw. Bauwerken bei denen mit einem höheren Anteil an Material- und Entsorgungskosten zu rechnen ist, muss dieser Wert gegebenenfalls genauer ermittelt werden.

---

<sup>43</sup> gemäß (Schach, Otto, Häupl, & Fritsche, August 2006) Lebenszykluskosten von Brückenbauwerken; Pkt. 1. Einleitung wird im Mittel 1% der Herstellkosten in die Erhaltung investiert.

<sup>44</sup> gemäß (Jodl & Jurecka, Lebenskosten - Modell Brücke, 2007) Lebenskosten - Modell Brücke; Seite 5, Größenordnung der Lebenszykluskosten, Instandhaltung 1,5% der Herstellkosten, welche aus heutiger Sicht als realster Wert angenommen werden kann.

<sup>45</sup> (ÖBB, 2006) Richtlinie zur Berechnung der Erhaltungskosten und Ablösungsbeträge von Ingenieurbauwerken, Straßen und Wegen; siehe Pkt. 2.1.2, Abbruchkosten.

### 5.1.2 LEBENSZYKLUSMODELL - LEBENSZYKLUS UND VARIATIONEN

Nach allgemeinen Erkenntnissen der Betriebswirtschaftslehre kommt es zwischen Produktinnovation und Produktelimination immer wieder zu Produktvariationen. Aufgrund unterschiedlicher Merkmale eines Produktes, können unterschiedliche Maßnahmen für eine oder mehrere Produktvariationen angewendet werden. Produktvariationen als Maßnahme der Produktgestaltung können auch dadurch erforderlich werden, weil sich die Bedürfnisse und Präferenzen der potentiellen Kunden im Zeitablauf ändern. Durch Produktvariation kann es möglich sein, den Rückgang, d.h. den umsatzmäßigen Abstieg, aufzuhalten bzw. hinauszuschieben und unter Umständen in eine neue Wachstumsphase überzuleiten, um neuerlich eine Steigerung des Gesamtumsatzes am Markt zu erreichen<sup>46</sup>.

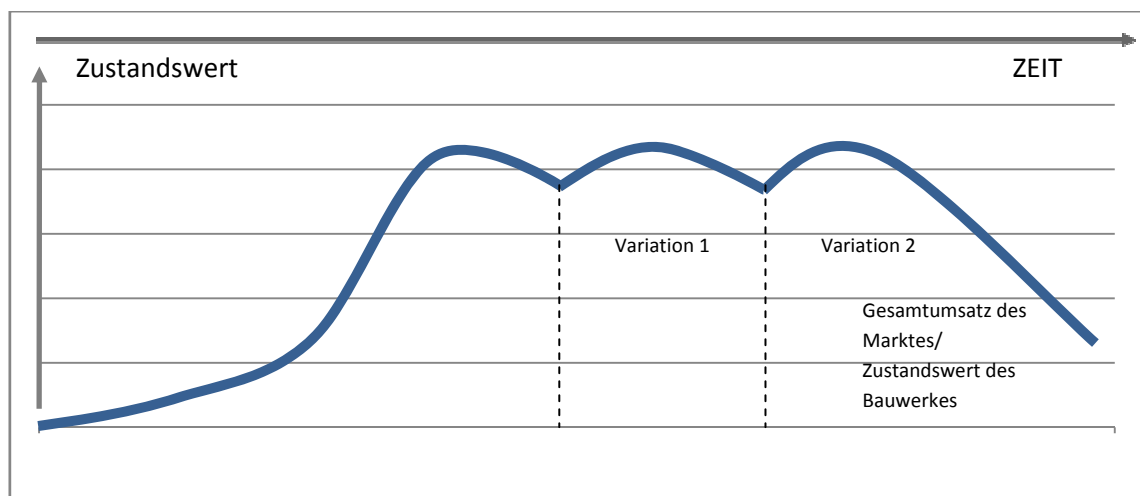


Abb. 3: Produktlebenszyklus mit zweimaliger Produktvariation<sup>47</sup>

Der Lebenszyklus von Brückenbauwerken kann mit dem Produktlebenszyklus in Kombination mit Produktvariationen verglichen werden. Die einzelnen Variationen im Lebenszyklus des Bauwerkes werden aufgrund des sich verschlechternden Zustandswerts des gesamten Bauwerkes erforderlich. Eine Verbesserung des Gesamtzustandes des Bauwerkes kann durch Instandsetzungsmaßnahmen erfolgen.

Durch die Alterung nimmt der Gesamtzustandswert des Bauwerkes ab dem Errichtungszeitpunkt kontinuierlich ab. Durch Instandhaltungsmaßnahmen kann dieser Alterungsprozess verzögert, aber nicht aufgehalten werden. Es folgt die erste Degenerationsphase am Bauwerk. Diese Degeneration verläuft so lange, bis die Gebrauchstauglichkeit und die Verkehrssicherheit auf ein noch zumutbares Maß abgenommen haben. Ab diesem Zeitpunkt kann durch eine gezielte Instandsetzungsmaßnahme (erste Produktvariation) der Gesamtzustand des Bauwerkes durch den Einsatz von Geldmitteln wieder verbessert und der Zustandswert um ein

<sup>46</sup> (Peters, R.Brühl, & J.Stelling, 2005) Betriebswirtschaftslehre, Einführung; Seite 148f.

<sup>47</sup> (Peters, R.Brühl, & J.Stelling, 2005) Betriebswirtschaftslehre, Einführung; vgl. Seite 149.

gewisses Maß<sup>48</sup> angehoben werden. Anschließend wiederholt sich dieser Prozess. Der Gesamtzustand des Bauwerkes nimmt ab bis zum Erreichen jenes Punktes, bei welchem die nächste Instandsetzungsmaßnahme (zweite Produktvariation) erforderlich ist, und der Gesamtzustand des Bauwerkes neuerlich verbessert werden muss.

Die Folge von Instandsetzungsmaßnahmen wird solange durchgeführt bis der Aufwand für weitere Instandsetzungsmaßnahmen nicht mehr gerechtfertigt ist. Bei fachgerechter Ausführung sämtlicher Leistungen über die gesamte Lebensdauer sollte das theoretische, maximal erreichbare Alter der Brücke erreicht worden sein.

Aus dem Ansatz des Produktlebenszyklus mit Produktvariationen (siehe. Abb. 3: Produktlebenszyklus mit zweimaliger Produktvariation) wird ersichtlich, dass eine Sättigungsphase mehrmals wiederholt wird und das Produkt länger am Markt verbleiben kann. Dasselbe gilt in diesem Falle auch für Bauwerke, bei welchen die Nutzungsdauer durch laufende Instandhaltungsmaßnahmen und Instandsetzungsmaßnahmen (Variationen) deutlich verlängert werden kann. Die Betriebsphase nimmt daher den größten Zeitraum im Lebenszyklus einer Brücke ein und kann durch jede noch wirtschaftlich sinnvolle Instandsetzungsmaßnahme verlängert werden.

Die Kosten für die Instandsetzungsmaßnahmen fallen aber nicht stetig an, die erforderlichen Geldmittel werden punktuell zur Verbesserung des Zustandes der Brücke eingesetzt und zeigen eine sofortige Verbesserung des Zustandswertes des Bauwerkes an (vgl. Abb. 4: Produktlebenszyklus einer Brücke (Annäherung)).

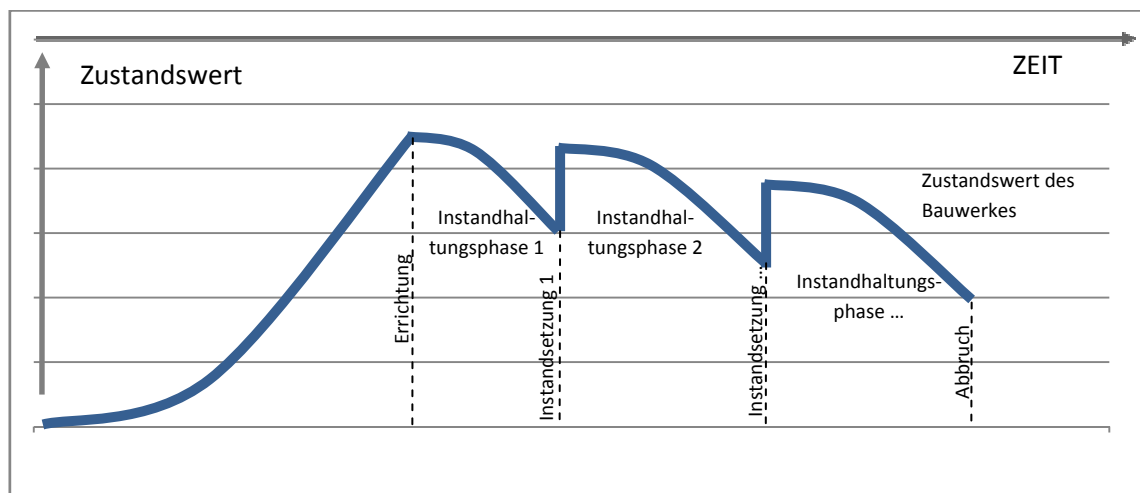


Abb. 4: Produktlebenszyklus einer Brücke (Annäherung)

Der höchste Zustandswert des Bauwerkes wird unmittelbar nach der Errichtung desselben erreicht. Unmittelbar nach Verkehrsfreigabe verschlechtert sich der Zustand des Bauwerkes aufgrund der ständigen Nutzung fortdauernd. Die notwendigen laufenden betrieblichen und

<sup>48</sup> Der Gesamtwert des Bauwerkes erhöht sich bei einer Instandsetzungsmaßnahme nicht um jenen Betrag der bei der Maßnahme eingesetzt wurde.

baulichen Instandhaltungsmaßnahmen verzögern die Alterung, und verschieben notwendige Eingriffe auf einen späteren Zeitpunkt. Bei den Instandhaltungen wird davon ausgegangen, dass in jeder Periode (Jahr) in etwa derselbe monetäre Aufwand zur Erhaltung des Bauwerkes eingesetzt wird. Trotz der Instandhaltungsmaßnahmen verschlechtert sich der Allgemeinzustand des Bauwerkes kontinuierlich. Die notwendigen Instandsetzungsmaßnahmen (Variationen) bringen eine sofortige Verbesserung des Gesamtzustandes und eine Erhöhung des Zustandswertes des Bauwerkes. Der ursprüngliche Zustandswert der Brücke unmittelbar nach deren Errichtung wird jedoch nicht mehr erreicht. Nachdem eine Instandsetzungsmaßnahme am Bauwerk aus wirtschaftlicher Sicht nicht mehr sinnvoll erscheint, hat das Bauwerk das Ende seines Lebenszyklus erreicht, somit erfolgt der Abbruch.

#### 5.1.3 LEBENSPHASEN EINER BRÜCKE

Der Lebenszyklus einer Brücke wird in fünf Phasen eingeteilt: die Projektentwicklungs-, die Planungs-, die Errichtungs-, die Betriebs- und die Abbruchphase.



Abb. 5: Lebensphasen einer Brücke

In der **Projektentwicklung** werden Informationen über die Bauart, den Verwendungszweck und der zukünftigen Nutzung des Bauwerkes gesammelt. Die gewonnenen Daten werden gewichtet und anschließend im Rahmen einer Nutzwertanalyse nach Prioritäten gereiht. Diese Prioritätenreihung bildet die Grundlage für die nachfolgenden Entwicklungsphasen.



Die Informationen, wie z.B. Verkehrsbelastung der Brücke, die geographische Lage, die geologischen Verhältnisse bei den Widerlagern und Fundamenten, die entstehende Lärmentwicklung durch Verkehr und bei Fahrbahnübergängen, die Belastung für die Anrainer, die Umweltbeeinflussung durch das Bauwerk etc. dienen als Grundlage für Modellannahmen und Variantenstudien. Auf Basis verschiedener Regelwerke (RVS) und Normen werden dann unterschiedliche Lösungsvarianten mit den Vorgaben aus der Projektentwicklung zusammengestellt, und die Vor- und Nachteile der einzelnen Varianten neu bewertet.

Die **Planungsphase** erfolgt auf Grundlage der Ergebnisse aus der Projektentwicklung in der die beste Variante ausgewählt und ein Projekt mit allen technischen Erfordernissen entwickelt wird. Der Planungsprozess verläuft in mehreren Etappen, so hat die Planung die aktive Gestaltung des Bauwerkes mit allen möglichen zukünftigen Anforderungen zum Ziel. Sie liefert die zu Papier gebrachten Informationen für den Bauherrn (Land Vorarlberg als Entscheidungsträger) und für den Ausführenden, der sich an der Planung zu orientieren hat. Die Planung übernimmt die Funktion eines Frühwarnsystems, in welchem die Probleme strukturiert dargestellt und Lösungsansätze zur Problembewältigung gefunden werden müssen. Daraus folgt die Informationsfunktion der Planung. Sie hat Interessenskonflikte zu lösen, den Kontakt zu Anrainern und Behörden aufrecht zu erhalten und deren Belange in das Projekt einfließen zu lassen. Zudem hat die Planung die Aufgabe Interessen von Energie-, Informations- und Transportträgern im Rahmen des Projektes mit zu berücksichtigen<sup>49</sup>. Als Endergebnis der Planungsphase entstehen Ausführungsunterlagen für die nächste Zyklusphase.

Die **Errichtungsphase** oder auch Bauphase beginnt mit den Maßnahmen vor Ort. Auf Basis der genehmigten und freigegebenen Unterlagen wird mit den Bauarbeiten begonnen. Die Errichtungsphase ist beendet mit der Übernahme des Bauwerkes durch den Bauherrn<sup>50</sup> und der damit zusammenhängenden Verkehrsfreigabe<sup>51</sup>. Sie ist eine der anspruchsvollsten Phasen, da die Ausführungsqualität über Lebensdauer und Kosten der Brücke entscheidet. Zum Inhalt der Errichtungsphase gehört auch die „Bestandsplanung“. Sie dient als wesentliche Grundlage für die Betriebsphase. Der Bestandsplan ist jene Unterlage, die mit den Ausführungen am Bauwerk übereinstimmt.

Die **Betriebsphase** beginnt unmittelbar nach der Verkehrsfreigabe. In den ersten Jahren (ca. bis zum fünften Betriebsjahr) sind, ausgehend von einer optimalen Errichtung des Bauwerkes, betriebliche Instandhaltungen erforderlich. Danach folgen zu den betrieblichen Instandhaltungen mehr und mehr die baulichen Instandhaltungsmaßnahmen. Nach Erreichen der Nutzungsgrenze für die unterschiedlichen Anlagenteile und die Brückenausrüstung, welche mit Instandhaltungsmaßnahmen nicht mehr ihre uneingeschränkte Funktionsfähigkeit erhalten, erfolgen Instandsetzungsmaßnahmen über das gesamte Bauwerk.

---

<sup>49</sup> (R.Fritsch & H.Hellmann, 1997) Brückenbau, vgl. S. 1, Kap. Einleitung.

<sup>50</sup> Bauherr im gegebenen Falle ist das Land Vorarlberg, vertreten durch die Abt. VIIb Straßenbau.

<sup>51</sup> Je nach Situation ist es erforderlich, dass der Verkehr über die gesamte Bauzeit aufrecht erhalten werden muss. Diese Abwicklung wird „Bauen unter Verkehr“ genannt, bezieht sich jedoch nicht auf Verkehrsfreigabe.

Anschließend wiederholt sich dieser Ablauf von Instandhaltung und Instandsetzung innerhalb der Gesamtnutzungszeit einige Male. Diese Betriebsphase umfasst die Möglichkeit der uneingeschränkten täglichen Nutzung des Brückenbauwerkes über die gesamte Lebensdauer unter Aufrechterhaltung der Gebrauchstauglichkeit und der Verkehrssicherheit.

Der **Abbruch**, die letzte Phase im Lebenszyklus hat zu erfolgen, wenn die geforderte Gebrauchstauglichkeit und Verkehrssicherheit durch laufende Instandhaltungsmaßnahmen nicht mehr erreicht werden kann, oder die Kosten für eine neuerliche Instandsetzungsmaßnahme aufgrund des notwendigen Leistungsumfanges nicht mehr gerechtfertigt werden können. Das Ende der Verkehrssicherheit oder der Gebrauchstauglichkeit kann durch unterschiedlichste Umstände erreicht werden (Beispiel: Verkehrszunahme, Tragfähigkeit, etc.). Das Nutzungsende tritt jedoch nicht schlagartig ein, und es kann frühzeitig wieder mit der Projektneuentwicklung begonnen werden. Zeitlich gesehen erfolgt der Abbruch im Normalfall unmittelbar vor der Neuerrichtung der Brücke, d.h. die Phasen Projektneuentwicklung und Neuplanung beginnen im Lebenszyklus des Bauwerkes bereits wieder vor dem Abbruch. Da jedoch das Lebenszyklusmodell nur ein Bauwerk behandelt und nicht deren Weiterführung kann dieser Umstand vernachlässigt werden.

## 5.2 VEREINFACHTES LEBENSKOSTENMODELL EINER BRÜCKE

Entsprechend dem Lebenszyklusmodell (siehe Pkt. 5.1 Lebenszyklusmodell) durchläuft das Brückenbauwerk mehrere Phasen. Jede dieser einzelnen Phasen verursacht Kosten. Allgemein werden die Kosten definiert als der bewertete Verzehr von Gütern in Form von Sach- und Dienstleistungen, der zum Zwecke der Erstellung und Verwertung der betrieblichen Leistung erforderlich ist<sup>52</sup>. Beim Brückenbauwerk sind unterschiedliche Sach- und Dienstleistungen erforderlich, die in ihrem Verwendungsbereich Kosten in unterschiedlicher Höhe verursachen. Die Gesamtkosten über alle Phasen (Projektentwicklung bis Abbruch) werden als die Lebenszykluskosten bezeichnet.

Basierend auf den Lebensphasen einer Brücke (vgl. Abb. 5: Lebensphasen einer Brücke) könnten für das Lebensmodell der Brücke viele einzelne Unterphasen entstehen. Das hätte den Nachteil, dass sich die Lebenszykluskosten auf viele Einzelphasen verteilen würden, die entweder aufgrund der geringen Kosten im Verhältnis zum Gesamtbauwerk nicht ins Gewicht fallen würden oder aufgrund ihrer Eigenschaften zusammengefasst werden könnten.

---

<sup>52</sup> (J.N.Stelling, 2005) Kostenmanagement und Controlling; vgl. Seite 16, Der wertmäßige Kostenbegriff.



Abb. 6: Lebenskostenzyklussystem auf Grundlage der Lebensphasen

In der obigen Abbildung (Abb.6) „Lebenskostenzyklussystem auf Grundlage der Lebensphasen“ ist ein möglicher Ablauf zur Errichtung, Erhaltung und zum Abbruch eines Brückenbauwerkes dargestellt.

Um die Übersicht zu bewahren wird für die Beschreibung des Lebenszyklus einer Brücke ein vereinfachtes Modell zur Bestimmung der Lebenszykluskosten angenommen. In diesem Lebenszyklusmodell werden einzelne, voneinander abhängige und systematisch zusammengehörige Phasen zu einer Phase zusammengefasst. Das neue vereinfachte Modell umfasst drei Phasen und wird auf die Zeitschiene eines Bauwerkes bezogen.



Abb. 7: vereinfachtes Lebenskostenzyklussystem

Die einzelnen Phasen enthalten folgenden Inhalt:

Herstellung (Phase 1): Die Herstellung umfasst die Projektentwicklung, die Planung und die Errichtung bis zur Verkehrsfreigabe.

Betrieb (Phase 2): Der Betrieb umfasst die betriebliche und bauliche Instandhaltung sowie die Instandsetzungen. Der Betrieb beginnt unmittelbar nach der Verkehrsfreigabe und endet mit der Sperre für den Verkehr.

Abbruch (Phase 3): Der Abbruch bildet die letzte Phase und umfasst auch die Leistungen der Entsorgung und Rekultivierung.

### 5.2.1 DAS LEBENSZYKLUSSYSTEM AUS TECHNISCHER SICHT

Zur ersten Phase (Herstellung) zusammengefasst werden die Projektentwicklung, die Planung und die Errichtung (siehe Abb. 5: Lebensphasen einer Brücke).

Eine Projektentwicklung findet beim Neubau von bestehenden Straßen und Brücken nur in geringem Maße statt, da Standort, Verkehrsbelastungen, Ausbaudimension und Ausbautyp bereits im Vorfeld fixiert sind, bzw. an den Bestand angepasst werden müssen. Bei Bestands-erneuerungsprojekten wird umgehend mit der Planung begonnen.

In der Planung werden sämtliche technische Neuerungen und Erkenntnisse, die dem aktuellen Stand der Technik entsprechen, mitberücksichtigt. Anschließend werden auf Basis der Planung die Bauleistungen definiert und in einer Ausschreibung<sup>53</sup>, in der die einzelnen auszuführenden Leistungen und Arbeitsschritte detailliert beschrieben sind, wiedergegeben. Auf Grundlage der Planung und den Vorgaben der Ausschreibung erfolgt die Errichtung des Bauwerkes durch die jeweiligen Fachunternehmen.

Die Errichtung umfasst die gesamten Leistungen vor Ort und erfolgt durch mehrere Leistungserbringer. Der Beginn der Leistungserbringung wird mit der Beauftragung und den darin enthaltenen vertraglichen Vereinbarungen definiert. Nach Abschluss sämtlicher Arbeiten am Bauwerk erfolgt die Übernahme des Objektes in den Bestand und die Verkehrsfreigabe durch das Land Vorarlberg.

Die zweite Phase (Betrieb) des Bauwerkes nimmt den größten Zeitraum ein. Durch Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen wird eine theoretische Mindestdauer erreicht. Die Vorgabe der theoretischen Mindestlebensdauer ist bei jedem Brückentyp unterschiedlich. Der Betrieb umfasst sämtliche Leistungen der betrieblichen und baulichen Instandhaltung des Bauwerkes und alle erforderlichen Instandsetzungen damit die theoretische Nutzungsdauer erreicht werden kann. Die Bewertung von Instandhaltungsleistungen mit Kosten stellt jedoch ein Problem dar. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass Instandhaltungsmaßnahmen zur Aufrechterhaltung des täglichen Betriebes erforderlich sind und im Regelfall durch eigenes Fachpersonal bewerkstelligt werden. Instandsetzungsmaßnahmen, die meist umfangreichere Arbeiten am Bauwerk erfordern, werden durch Fachfirmen umgesetzt. Generell führen Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen zu einer Verbesserung des Bauwerkszustandes, erhöhen die Verkehrssicherheit und tragen zur Verlängerung der Nutzungsdauer bei.

Nach Ablauf der Nutzungsdauer erfolgen die Umsetzung einer Ersatzmaßnahme oder Neuerrichtung, welche bereits wieder einer neuen Phase 1 zugeordnet werden, und anschließend der Abbruch des bestehenden Bauwerkes. Der Lebenszyklus des Bauwerkes ist damit abgeschlossen.

---

<sup>53</sup> Die Ausschreibung bildet die Grundlage für die Erbringung der Lieferleistungen für das Bauwerk. Die Ausschreibung enthält die Vertragsbedingungen, das Leistungsverzeichnis in welchem die einzelnen zu erbringenden Leistungen in Positionen aufgeteilt und detailliert beschrieben sind und die Plangrundlagen.

### 5.2.2 DAS LEBENSZYKLUSSYSTEM AUS SICHT DER KOSTEN

Die drei Phasen, Herstellung – Betrieb – Abbruch (siehe Abb. 7: vereinfachtes Lebenszyklussystem) bilden die maßgebenden Kostenparameter des Lebenszyklussystems. Diese Phasen bilden jeweils eine in sich abgeschlossene Einheit. Jeder dieser Einheiten können die anfallenden Kosten eindeutig zugeordnet werden, da sie eindeutige Abschnittstrennungen (siehe nachfolgende Abbildung) haben.

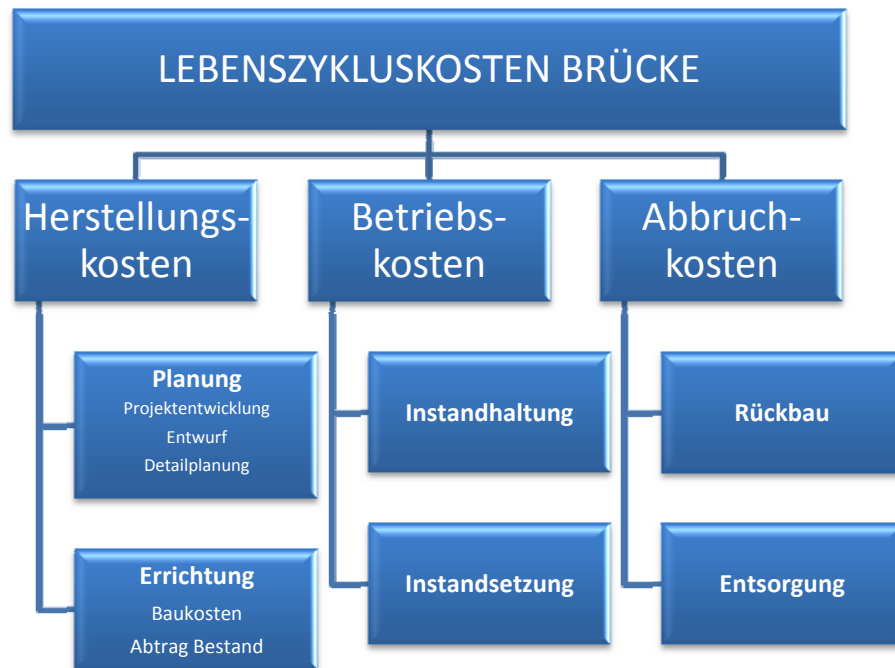


Abb. 8: Kostengliederung der Zyklusphasen

Die vermeintlichen Hauptkosten werden nach allgemeiner Meinung in der Planung und Errichtung, welche zur Phase der Herstellung zusammengefasst wurden, gesehen. Dieser Eindruck wird dadurch verdeutlicht, da die Errichtungskosten einen beträchtlichen Anteil der Kosten im Lebenszyklus einnehmen und bei erforderlichen Budgetverhandlungen meist nur die Errichtungskosten zu Wirtschaftlichkeitsdiskussionen führen. Die Planung beschreibt den Vorgang von der Idee (auch politische Forderung) zur Umsetzung auf Papier. Dabei werden mehrere Stadien der Planung bearbeitet. Die Konzeptplanung dient zum Studium der Ausführungsvarianten sowie der Grobkostenermittlung. Damit soll erreicht werden, dass die Auswahl auf eine oder maximal zwei Varianten reduziert wird und die Kosten als Entscheidungsgrundlage ermittelt werden. Nach der Entscheidung für ein Projekt wird auf Basis der bereits erarbeiteten technischen Grundlagen, den allgemein gültigen Normen und Regelwerken das Projekt zur Behördenabstimmung sowie zur Verhandlung ausgearbeitet. In weiterer Folge wird das Ausführungsprojekt mit allen aus den Behördenverhandlungen bekannten Auflagen und den erforderlichen technischen Details, ausgearbeitet.

Zu diesem Zeitpunkt sind alle relevanten Kostenparameter, welche für die Errichtung erforderlich sind erfasst und in das Projekt eingearbeitet. Die Errichtungskosten sind daher auf Basis einer vollständigen Planung relativ leicht zu bestimmen, da für sämtliche Einzelleistungen entsprechende Vergleichspreise am Markt vorhanden sind, und die Aktualität der Vergleichspreise relativ hoch liegt. Die Genauigkeit der Kostenschätzungen für die Errichtungskosten liegt bei sachgerechter Planung, unter der Forderung der ÖNORM 1801-1, welche den Genauigkeitsgrad der Schätzung vorgibt, bei +/- 20%.

Die Betriebskosten sind alle Instandhaltungs- und Instandsetzungsleistungen, welche über die gesamte Nutzungsdauer anfallen. Diese Leistungen sind im Vorhinein sehr schwierig zu bewerten. Die Nutzungsdauer hängt grundsätzlich vom Brückentyp (Stahl-, Stahlbeton-, Holzbrücke) ab, denn jeder Brückentyp besitzt unterschiedliche Bewertungen bei der Nutzungsdauer. So schwankt die Zeit in der die Gebrauchstauglichkeit und Verkehrssicherheit gewährleistet sein soll je nach Bautyp zw. 70 bis 100 Jahren. Unterschiedlich sind auch die jährlichen Betriebskosten. Diese bewegen sich von 0,4% - 2,5%<sup>54, 55</sup> je nach Bautyp und werden auch in der Literatur unterschiedlich bewertet.

Die entstehenden Betriebskosten unterliegen aufgrund ihres Ansatzes im Prozentbereich über die Lebensdauer sehr großen Schwankungen. Die theoretischen Nutzungsdauern von Brückenbauwerken sind nur bei regelmäßiger Instandhaltung und Instandsetzung zu erreichen, dies bedeutet, dass der prozentuelle Anteil der Betriebskosten direkt mit den erforderlichen Erhaltungsmaßnahmen zusammenhängt, d.h. steigt der Mehraufwand an Vorsorgemaßnahmen steigt gleichzeitig der prozentuelle Anteil der Betriebskosten.

Die Abbruchkosten entstehen im Zuge der Wiedererneuerung und werden mit 20% der Errichtungskosten angegeben<sup>56</sup>. Zu berücksichtigen sind hier jedoch die Entsorgungskosten für umweltschädigende Materialien, welche je nach Brückentyp vereinzelt zum Einsatz gelangt sind, sowie die Aufwendungen für die Baustofftrennung, die durch die steigenden Rohstoffpreise wieder an Aufmerksamkeit gewinnen.

---

<sup>54</sup> (Menn, 1986) Stahlbetonbrücken; siehe Kap. 3.2 Wirtschaftlichkeit Seite 75, Sanierungen 0,4%, Gesamtinstandhaltung 1% der Neubaukosten.

<sup>55</sup> (Bergmeister & Wörner, 2004) Betonkalender, Brücken – Parkhäuser; siehe Kap. Brückeninspektion und –überwachung Seite 409, vgl. die Instandsetzungskosten belaufen sich im Brückenbau jährlich auf etwa 0,8% bis 2,5% bezogen auf die Neubaukosten und in Abhängigkeit vom Brückentyp.

<sup>56</sup> (ÖBB, 2006), Richtlinie zur Berechnung der Erhaltungskosten und Ablösungsbeträge von Ingenieurbauwerken, Straßen und Wegen; vgl. S. 6, Pkt. 2.1.2, Abbruchkosten.

## 6 LEBENSZYKLUSKOSTENMODELL

Das Lebenszykluskostenmodell stellt den schematischen Ablauf dar, welche erforderlichen Mittel über die Lebenszeit eines Brückenbauwerkes notwendig sind und zu welchem Zeitpunkt größere Investitionen unerlässlich sind.

Die Kosten, die über den Lebenszyklus (von der Planung und Errichtung bis zum Abbruch) einer Brücke anfallen können, werden wie folgt dargestellt.

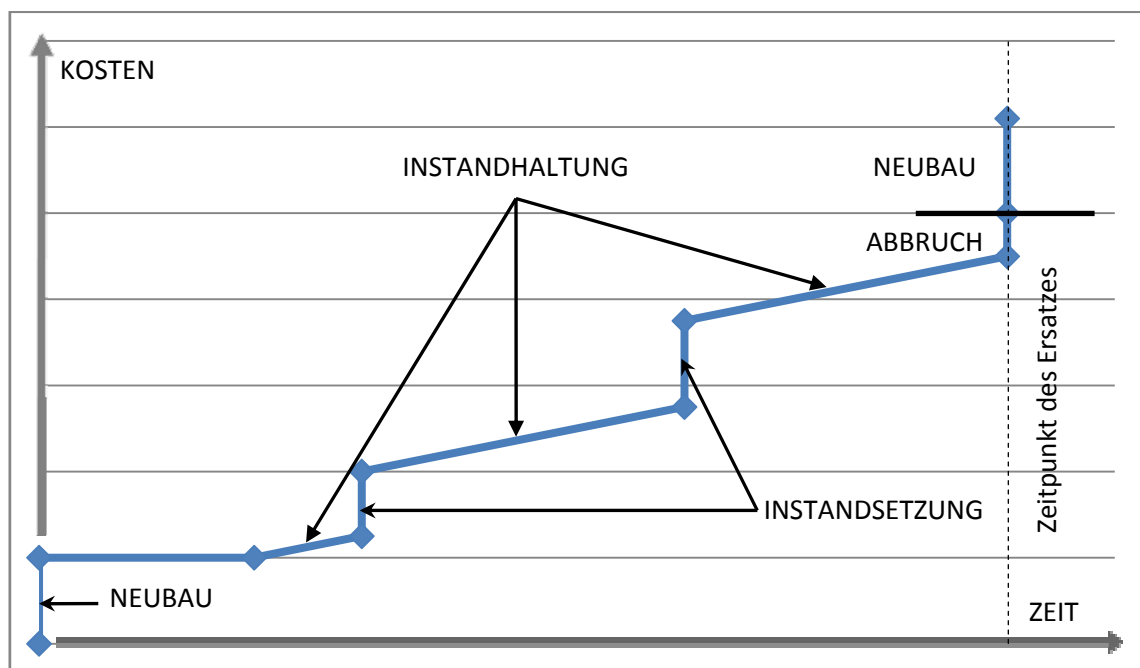


Abb. 9: Lebenszykluskosten einer Brücke<sup>57</sup> (Straninger, Wicke, & Kirsch, 2000, S. 2-1)

Nach der Herstellung und Freigabe für den Verkehr verstreichen einige Jahre, in denen keine maßgeblichen baulichen Instandhaltungsmaßnahmen erforderlich sind. Es sind ausschließlich betriebliche Instandhaltungsmaßnahmen notwendig, welche sich in der Anfangsphase monetär nur gering auswirken. Einige Jahre nach der Verkehrsfreigabe werden die ersten baulichen Instandhaltungsmaßnahmen notwendig. Ab diesem Zeitpunkt fallen regelmäßig bewertbare Instandhaltungskosten am Brückenbauwerk an. Diese Leistungen umfassen vor allem kleinere Reparaturen und Reinigungsarbeiten von Bauwerksteilen, um die Gebrauchstauglichkeit und die Verkehrssicherheit aufrecht zu erhalten.

<sup>57</sup> (Straninger, Wicke, & Kirsch, 2000) Kostenmodell für den Straßenerhalt von Straßenbrücken; vgl. Abb. 2/1 LifeCycle-Kosten einer Brücke.

Durch die laufende (Ab)Nutzung der Brücke fallen in bestimmten Abständen Instandsetzungsleistungen größeren Umfanges an, die eine Reparatur oder den Ersatz von Anlagenteilen erfordern damit der geplante Erhaltungszustand wieder erreicht wird.

Diese Instandsetzungsarbeiten wiederholen sich i.d.R. ein bis zwei Mal, aber maximal so oft bis die Instandsetzungsleistungen ein Maß erreichen, welche weitere Investitionen in das Bauwerk nicht mehr rechtfertigt. Zwischen den einzelnen Instandsetzungsmaßnahmen sind jedoch laufend betriebliche und bauliche Instandhaltungsmaßnahmen erforderlich.

Nachdem die Gebrauchstauglichkeit und Verkehrssicherheit nicht mehr oder nur mit einem sehr hohen finanziellen Aufwand erreicht werden kann erfolgt der Abbruch und Neubau des Brückenbauwerkes. Diese Problematik über den Lebenszyklus von Bauwerken wurde bereits in Kapitel 5. Lebenszyklus von Brücke erläutert.

Der exakte Verlauf des Lebenszyklus einer Brücke ist von verschiedenen Umweltfaktoren wie z.B. Verkehrsbelastung, Standort, Topographie, Errichtungsqualität aber auch von deren Bauweise (Beton, Stahl, Holz, Verbundbrücken) abhängig und kann für keine Brücke exakt vorherbestimmt werden. Das bedeutet auch, dass die Kosten für die Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen meist in unterschiedlicher Höhe und zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen. Grundsätzlich kann jedoch für alle Brückenbauwerke ein ähnlicher Verlauf der Lebenszykluskosten angenommen werden, der sich in einer charakteristischen Treppenform darstellt. Unterschiede bestehen im Wesentlichen in der Nutzungsdauer und den möglichen Instandsetzungen, sowie der Neigung der Instandhaltungslinie, welche je nach Neigung einen größeren oder kleineren Betrag für die Instandhaltungsmaßnahmen erfordert.

Ziel ist es ein einfaches Modell zur Berechnung der Lebenszykluskosten festzulegen, welches für die meisten Brücken in Vorarlberg zutrifft und als Basismodell für weitere Brückentypen jeweils in angepasster Form angewendet werden kann.

### 6.1 RELEVANTE PARAMETER IM LEBENSZYKLUS

Die Hauptparameter setzen sich zusammen aus der Errichtung, der Betriebsphase und den Abbruchkosten. Dabei ist es von außerordentlicher Bedeutung wann und zu welchem Preis das Bauwerk errichtet wurde. Wichtig für die Kostenermittlung sind die Konstruktion und die Maßnahmen in der Erhaltung, sowie die topographische Lage und das Verkehrsaufkommen. Diese Parameter bilden die entscheidenden kostenrelevanten Parameter bei einem Brückenbauwerk.



### 6.1.1 BAUJAHR UND ALTERUNG

Das Baujahr bildet einen wesentlichen Parameter der Brücke und gibt Auskunft auf den Zustand des Brückenbauwerkes. Die Alterung der Bauteile ist mit der laufenden (Ab)Nutzung durch den Verkehr und durch äußere Umwelteinflüsse direkt verbunden. Um der Alterung des Bauwerkes entgegen zu wirken sind laufende Instandhaltungsarbeiten erforderlich. Über das Baujahr und die Alterung des Bauwerkes werden die Änderungen der Verkehrsbelastungen transparent gemacht. Durch die ständige Zunahme der Verkehrsbelastung erfolgen zunehmend stärkere Belastungen (mehr Lastwechsel und höhere Achsdrücke), die zu einer rascheren Alterung führen. Ebenso gibt das Baujahr Auskunft über die Einwirkungen in den Wintermonaten. So wurde in früheren Jahren eine Brücke nicht für eine unbehinderte Befahrbarkeit in den Wintermonaten ausgelegt. Die Befahrbarkeit der Straßen wurde mit Splitt-Streuung bewerkstelligt, die ständige Befahrbarkeit war daher nicht gesichert. In den letzten Jahren wurden die meisten Brücken durch Tausalz eisfrei gehalten, und sind ganzjährig befahrbar. Durch das geänderte Tauverhalten erfolgen zusätzliche Beanspruchungen und daher eine raschere Alterung des Bauwerkes, was bei älteren Bauwerken zu einer Verkürzung des Instandhaltungsintervalles führt. Daraus wird auch ersichtlich, dass das Baujahr über den Stand der Technik zum Zeitpunkt der Errichtung Auskunft gibt. Die Erfahrungen in der Instandhaltung haben laufend zur Verbesserung der Instandhaltungsmaßnahmen geführt. Aufgrund dieser Erfahrungen wurde in den letzten Jahrzehnten durch die dem Stand der Technik angepasste Ausführung, die verbesserten Baustoffe, die standardisierten Beobachtungsmethoden sowie die laufend überarbeiteten und aktualisierten Normen und Richtlinien eine Steigerung der Qualität bei der Errichtung von Brücken erreicht<sup>58</sup>.

### 6.1.2 ERHALTUNGSZUSTAND

Die Bewertung des Erhaltungszustandes gemäß Pkt. 3.3 Schadensklassen der Zustandsbeurteilung gibt keine Auskunft über das Alter des Bauwerkes. Anhand der Schadensbeurteilungen werden Rückschlüsse auf die weiteren Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen getroffen. Mit dem bekannten Erhaltungszustand und den umgesetzten Maßnahmen am Bauwerk werden Abschätzungen über die zukünftige Zustandsentwicklung und der damit verbundenen Lebenserwartung der Bauteile am Bauwerk getroffen. Somit dient der Erhaltungszustand als Werkzeug, in welchem festgestellt werden kann in welchem Lebensabschnitt sich die einzelnen Bauteile befinden und wie lange sich die Nutzung unter Berücksichtigung der Sicherheit und wirtschaftlicher Gesichtspunkte bis zur nächsten Instandsetzungsmaßnahme noch aufrecht erhalten kann. Der Erhaltungszustand findet jedoch in nachfolgender Berechnung der LZK keinen Eingang, da der Erhaltungszustand bereits über den jeweiligen Instandsetzungsrhythmus der einzelnen Bauteile Eingang findet.

---

<sup>58</sup> (Straninger, Wicke, & Kirsch, 2000) Kostenmodell für den Straßenerhalt von Straßenbrücken; siehe Pkt. 3, Kostenrelevante Einflussparameter.

### 6.1.3 BAUKOSTEN

Die Baukosten für Brückenbauwerke werden im Zuge der Planung über die durchschnittlichen Baukosten für Brückenbauwerke auf Quadratmeter-Basis berechnet. Als Berechnungsgrundlage dient die Breite von Außenkante zu Außenkante und der mittleren Stützweite<sup>59</sup>. Beeinflusst werden die Baukosten vom Bautyp und der Baumethode (Beispiel: Ortbeton, Fertigteile usw.). Der Bautyp hängt überwiegend von den eingesetzten Materialien ab, welche wiederum unterschiedliche Erhaltungsmaßnahmen erfordern. Die Bautypen werden wie folgt unterschieden (Beton- und Stahlbetontragwerke; Spannbeton-, Stahl- und Verbundtragwerke und Holztragwerke<sup>60</sup>). Wesentlichen Einfluss auf die Baukosten hat die aktuelle Konjunkturlage, die auch über die Jahresfrist Schwankungen unterworfen ist, welche zu teilweise erheblichen Änderungen der Baukosten führen kann. Eine genauere Berechnung der Lebenszykluskosten erfolgt erst nach Vorliegen der Angebotsunterlagen für die Errichtung, diese sollte mit der Kostenschätzung der Planung harmonisieren.

Die Preisermittlung für den durchschnittlichen m<sup>2</sup>-Preis erfolgt über die Mittelpreisentwicklung<sup>61</sup> der vergangenen Projekte (Anlage 9 - Kostenaufstellung zur Ermittlung der m<sup>2</sup>-Preise für Stahlbetonbrücken).

### 6.1.4 ÖRTLICHKEIT UND TAUSALZEINFLUSS<sup>62</sup>

Die Gewichtung der Örtlichkeit und damit die topographische Lage wird im Wesentlichen von der Meereshöhe bestimmt. In größeren Höhen steigen die Anzahl der Schnee- und Frosttage und somit gleichzeitig die Frost- und Tauwechselperioden. Das bedeutet ein erhöhter Einsatz für den Winterdienst und die Streuung von Tausalz.

Durch die Schneeräumung ergeben sich besonders starke mechanische Beanspruchungen. Betroffen ist dabei nicht das gesamte Tragwerk sondern vor allem einzelne Teile wie Fahrbahnbelag, Fahrbahnübergänge, Fugenübergänge, Leiteinrichtungen etc.. Diese Beanspruchungen wirken sich vor allem auf die Kosten der betrieblichen Instandhaltungsleistungen aus. Der Tausalzeinsatz ist von der topographischen Höhe aber auch von der Örtlichkeit abhängig. So steigt mit zunehmender Meereshöhe die Tausalzbeaufschlagung, da erhöhte Vereisungsfahr durch die Auskühlung des Tragwerkes besteht. Die Örtlichkeit ist bestimmt durch die klimatischen Bedingungen an besonders exponierten Stellen (Beispiel: Nähe zum Gewässer, Waldstrecken, Windeinwirkung) und erfordert in diesen Lagen ebenfalls mehr Einsatz von

---

<sup>59</sup> Die Stützweite ist abhängig von der Topographie und der Formgebung der Brücke, die Stützweite bei einer geraden Brücke reicht von Widerlager zu Widerlager.

<sup>60</sup> (Straninger, Wicke, & Kirsch, 2000) Kostenmodell für den Straßenerhalt von Straßenbrücken; vgl. Pkt. 3.6, Bauweise (Material).

<sup>61</sup> Grundlage für den Mittelpreis bildet die Preisdatenbank der Abt. Straßenbau. Die Preisdatenbank setzt sich aus den Bestbieterergebnissen für Brückenbauwerke der letzten Jahre zusammen.

<sup>62</sup> (Straninger, Wicke, & Kirsch, 2000) Kostenmodell für den Straßenerhalt von Straßenbrücken; vgl. Pkt. 3.11, Standort und Topographie.

Tausalz. Die Problematik Tausalz liegt in der Wirkung auf die oberflächlichen Anlagenteile und das Tragwerk. So können nicht funktionsfähige Entwässerungen, Risse an der Oberfläche, schadhafte Abdichtungen und zu geringe Betondeckungen dazu führen, dass Schädigungen am Tragwerk entstehen und die Funktionsdauer des Bauwerkes verkürzen und Instandsetzungsmaßnahmen erfordern. Diese Einflüsse wirken sich bereits in der Kostenschätzung und anschließend bei den Angebotspreisen der Bieter aus, da die technischen Schutzvorkehrungen gegen den Tausalzeinfluss bereits in die Planung Eingang finden.

### 6.1.5 VERKEHRSaufKOMMEN

Beim Verkehrsaufkommen wirkt sich vor allem der LKW-Verkehr auf das Bauwerk aus. Die Belastung durch den LKW-Verkehr (DTLV) kann aus den statistischen Verkehrsdaten und aus direkten Verkehrszählungen gewonnenen und dem Brückenobjekt direkt zugeordnet werden. Die Einwirkungen auf Belag, Fugen und Fahrbahnübergänge lassen sich dabei empirisch bestimmen. Auswirkungen auf das Tragwerk sind bislang vernachlässigbar, da bisher keine Schäden an Bauwerken hervorgerufen durch den DTLV bekannt sind. Trotzdem ist das Verkehrsaufkommen zu berücksichtigen, da es sehr wohl in der Dimensionierung eines Bauwerkes Eingang findet und Kosten verursacht. Das Verkehrsaufkommen kann auch zu Instandsetzungsmaßnahmen führen, die aufgrund von Verkehrszunahmen Verstärkungen am Tragwerk und an den Widerlagern erfordern. Umgekehrt kann in der heutigen Zeit keine Aussage getroffen werden, in welchem Umfang sich der DTLV auf die Funktionsdauer des Brückenbauwerkes auswirkt. Das Verkehrsaufkommen wirkt sich in der Dimensionierung der Bauteile aus und muss daher nicht gesondert berücksichtigt werden.

## 6.2 WIRTSCHAFTLICHE GRUNDBEGRIFFE

Bei sämtlichen nachfolgenden Begriffen und Berechnungsmethoden werden keine Einnahmen berücksichtigt, denn bei Brückenbauwerken in Vorarlberg fallen über den Bewertungszeitraum ausschließlich Ausgaben<sup>63</sup> an, die durch die Herstellung, Instandhaltung, Instandsetzung und den Abbruch entstehen.

### 6.2.1 BARWERT

Der Barwert auch Gegenwartswert genannt ist der zu einem bestimmten zeitnahen Zeitpunkt bestimmte Wert einer zukünftigen Einzahlung oder einer zukünftigen Auszahlung. Mit dem

---

<sup>63</sup> Das Land Vorarlberg ist ausschließlich für Brücken bei Landesstraßen zuständig bei denen keine Maut oder sonstige Gebühr eingehoben wird. Die Brücken der Autobahnen und Schnellstraßen werden durch die ASFINAG verwaltet.

Barwert werden alle in Zukunft erforderlichen Ein- und Auszahlungen auf den geplanten Zeitpunkt diskontiert (abgezinst). Durch die Multiplikation des Zeitwertes der einzelnen Zahlungen ergibt sich der Barwert durch Abzinsung, d.h. die zukunftsbezogenen Einzahlungen (Instandhaltungs- und Instandsetzungskosten) werden durch Abzinsung auf den heutigen Wert zurückgerechnet.

Kosten, die durch Instandhaltung und Instandsetzung erst in Zukunft anfallen, sind daher gemessen auf einen Bezugszeitpunkt geringer zu bewerten, da die Zeitspanne von  $t=0$  bis zur tatsächlichen Inanspruchnahme des Geldes auf dem Kapitalmarkt<sup>64</sup> genutzt werden kann.

### 6.2.1.1 Barwertberechnung bei einmaligen Kosten

Bei der Barwertberechnung werden die zukünftigen Kosten zu Beginn der Lebenszeit betrachtet. Die Barwertberechnung aus „Einmalzahlungen“ ist für Instandsetzungskosten erforderlich, da diese zu bestimmten Zeitpunkten einmalig anfallen.

$$K_0^{IS} = K_m * \frac{1}{q^m}$$

Formel 2: Berechnung Barwert  
bei einmaligen Kosten

$K_0^{IS}$	=	Barwert aus Instandsetzungen (IS) [€]
$K_m$	=	Kosten zum Zeitpunkt des Kapitaleinsatzes [€]
$\frac{1}{q^m}$	=	$\frac{1}{(1+i)^m}$ = Abzinsungsfaktor
$i$	=	Kalkulationszinssatz [%]
$m$	=	Lebensdauer von einzelnen Bestandteilen

Die Barwertberechnung erfolgt bei den Instandsetzungskosten als Einmalzahlung, die dann addiert wird. Die Berechnung des Barwertes mit Einmalzahlungen muss dann verwendet werden, wenn die anfallenden Kosten nicht gleich hoch sind. Der Barwert aus den Instandsetzungskosten wird daher aus der Summe der Einmalzahlungen gebildet.

<sup>64</sup> Geldmittel werden seitens des Landes Vorarlberg nicht auf dem Kapitalmarkt, sondern im Zuge der Anforderung der Budgetmittel eingesetzt.

### 6.2.1.2 Barwertberechnung bei gleichmäßigen Kosten

Bei der Barwertberechnung sind die jährlich anfallenden Erhaltungskosten aus der betrieblichen und baulichen Instandhaltung auf den Beginn der Lebenszeit betrachtet. Die Barwertberechnung aus „gleichmäßigen Zahlungen“ gilt bei der Annahme, dass jedes Jahr in etwa die gleichen Erhaltungskosten anfallen.

$$K_0^{IH} = K_{jIH} * \frac{q^m - 1}{q^m(q - 1)}$$

Formel 3: Berechnung Barwert bei jährlichen Kosten

$K_0^{IH}$	=	Barwert aus Instandhaltungen (IH) [€]
$K_{jIH}$	=	Kosten der jährlichen Instandhaltung [€]
$\frac{1}{q^m} = \frac{1}{(1+i)^m}$	=	Abzinsungsfaktor
$\frac{q^m - 1}{q^m(q - 1)}$	=	Barwertfaktor
m	=	Lebensdauer von einzelnen Bestandteilen
i	=	Kalkulationszinssatz [%]

Die Barwertberechnung erfolgt bei den Instandhaltungskosten als jährliche konstante Zahlung, die laufend addiert wird. Die Berechnung des Barwertes mehrmaliger konstanter Zahlungen kann darum angenommen werden, weil die Instandhaltungskosten bei sachgemäßer Durchführung konstant bleiben. Der Barwert aus den Instandhaltungskosten wird daher aus der Summe der jährlich abgezinsten Zahlungen gebildet.

### 6.2.2 ENDWERT

Der Endwert kennzeichnet jenen Wert, der durch eine Einzahlung oder eine Auszahlung zu einem bestimmten in der Zukunft liegenden Zeitpunkt erreicht wird. Der Endwert gibt daher Auskunft, welchen Wert die heute geleisteten Zahlungen am Ende der Betrachtungsperiode erreicht haben, die Zahlungen müssen aufgezinst werden. Durch die Multiplikation des Zeitwertes der einzelnen Zahlungen mit dem Aufzinsungsfaktor ergibt sich der Endwert, der Wert, der zum geplanten Zeitpunkt erreicht wird.

Kosten, die durch die Herstellung, Instandhaltung und Instandsetzung bereits angefallen sind, sind bezogen auf den Bezugszeitpunkt höher zu bewerten, da dieses Geld eine Rendite<sup>65</sup> entsprechend dem Kalkulationszinssatzes erwirtschaften hätte können.

<sup>65</sup> In diesem Falle ist diese Rendite als fiktive Rendite anzusehen. Im Budgethaushalt des Landes Vorarlberg fließen nicht benötigte Gelder zurück in den Budgettopf und finden eine andere Verwendung. Eine Veranlagung der Gelder ist daher nicht möglich.

#### 6.2.2.1 Endwertberechnung bei einmaligen Kosten

Bei der Endwertberechnung werden die Kosten am Ende der Lebenszeit des Bauwerkes betrachtet. Die Endwertberechnung aus „Einmalzahlungen“ aus den Instandhaltungskosten wird entsprechend aufgezinst.

$$K_n^{IS} = K_m * q^m$$

**Formel 4: Berechnung Endwert  
bei einmaligen Kosten**

$K_n^{IS}$	=	Endwert aus Instandsetzungen (IS) [€]
$K_m$	=	Kosten zum Zeitpunkt des Kapitaleinsatzes [€]
$q^m$	=	$(1 + i)^n$ = Aufzinsungsfaktor
$n$	=	Anzahl der Jahre im Betrachtungszeitraum
$i$	=	Kalkulationszinssatz [%]
$m$	=	Lebensdauer von einzelnen Bestandteilen

Die Endwertberechnung für die Instandhaltungs- und Instandsetzungskosten wird analog zur Barwertberechnung mit der obigen Formel berechnet. Sie findet Anwendung, wenn die zukünftig notwendigen Leistungen in unterschiedlicher Höhe anfallen. Der Endwert wird daher aus der Summe der einzelnen Einmalzahlungen berechnet.

#### 6.2.2.2 Endwertberechnung bei gleichmäßigen Kosten

Bei der Endwertberechnung werden die zukünftig jährlich anfallenden Erhaltungskosten aus der betrieblichen und baulichen Instandhaltung von Beginn der Lebenszeit bis zum Ende des zu erwarteten Lebenszyklus betrachtet. Die Endwertberechnung aus „gleichmäßigen Zahlungen“ gilt bei der Annahme, dass in Zukunft jedes Jahr die gleichen Erhaltungskosten anfallen.

$$K_n^{IH} = K_{jIH} * \frac{q^m - 1}{(q - 1)}$$

**Formel 5: Berechnung Endwert  
bei jährlichen Kosten**

$K_n^{IH}$	=	Barwert aus Instandhaltungen (IH) [€]
$K_{jIH}$	=	Kosten der jährlichen Instandhaltung [€]
$q^m$	=	$(1 + i)^n$ = Aufzinsungsfaktor
$n$	=	Anzahl der Jahre im Betrachtungszeitraum
$\frac{q^m - 1}{(q - 1)}$	=	Endwertfaktor
$m$	=	Lebensdauer von einzelnen Bestandteilen
$i$	=	Kalkulationszinssatz [%]

Die Endwertberechnung erfolgt bei den Instandhaltungskosten als jährliche konstante Zahlung, die laufend addiert wird. Die Berechnung des Endwertes auf Grundlage mehrmaliger konstanter Zahlungen kann darum angenommen werden, weil davon ausgegangen werden kann, dass die Instandhaltungskosten bei sachgemäßer Durchführung konstant bleiben. Der Endwert aus den Instandhaltungskosten wird daher aus der Summe der jährlich aufgezinsten Zahlungen gebildet.

### 6.2.3 RESTWERTBERECHNUNG

Die Restwertberechnung dient zur Wertbestimmung des Bauwerkes vor Ablauf der theoretischen Nutzungsdauer. Nach Ablauf der theoretischen Nutzungsdauer beträgt die Restnutzungsdauer Null. Die Bestimmung dieses Wertes wird dann erforderlich, wenn das Bauwerk nach einer bestimmten Nutzungsdauer an Dritte<sup>66</sup> übergeben wird.

Mit der Restwertberechnung werden die Aufwendungen, die im Lebenszyklus einer Brücke (Herstellung-Betrieb-Abbruch) zu unterschiedlichen Zeiten angefallen sind, bestimmt. Dabei werden alle Leistungen, die dem Bauwerk zuzurechnen sind auf einen bestimmten Zeitpunkt (Zeitpunkt der Restwertbestimmung  $RW_{nu}$ ) berechnet. Die Berechnung setzt eine lineare Abschreibung der Errichtungskosten der Bauteile voraus.

#### 6.2.3.1 Restwertberechnung mit der Barwertmethode<sup>67</sup>

Die Bestimmung des Restwertes mit der Barwertmethode erfolgt durch Abzinsung auf den Beginn des Betrachtungszeitraumes. Zu beachten ist dabei, dass für jeden Bauteil der Restwert nur bis zur nächsten fälligen Erneuerung des Bauteiles bestimmt werden darf.

$$RW_{nu}^{BW} = K_m * \frac{m - nu}{m} * \frac{1}{q^m}$$

**Formel 6: Berechnung Restwert mit der Barwertmethode**

$RW_{nu}^{BAR}$	=	Restwert aus Barwertberechnung zum Zeitpunkt nu [€]
$K_m$	=	Kosten zum Zeitpunkt des Kapitaleinsatzes [€]
$\frac{1}{q^m}$	=	Abzinsungsfaktor
$i$	=	Kalkulationszinssatz [%]
$m$	=	Lebensdauer von einzelnen Bestandteilen
$nu$	=	verstrichene Nutzungsdauer

<sup>66</sup> Dritte sind i.d.R. Gemeinden oder Betriebe mit Landesbeteiligungen. Die Herstellung und/oder spätere Übergabe von Brückenbauwerken ist im Normalfall nicht geplant.

<sup>67</sup> (Jodl, Jurecka, Schranz, & D., 2008) Programmentwicklung Lebenszykluskosten von Brücken (LZKB), vgl. Seite 37, Teil 1 – Anforderungen.

### 6.2.3.2 Restwertberechnung mit der Endwertmethode

Bei der Berechnung des Restwertes mit der Endwertmethode bilden die Errichtungskosten und die lineare Abschreibung die Grundlagen der Restwertermittlung.

$$RW_{nu}^{EW} = K_m * \frac{m - nu}{m}$$

Formel 7: Berechnung Restwert mit der Endwertmethode

$RW_{nu}^{END}$  = Restwert aus Endwertberechnung zum Zeitpunkt nu [€]

$K_m$  = Kosten zum Zeitpunkt des Kapitaleinsatzes [€]

$m$  = Lebensdauer von einzelnen Bestandteilen

$nu$  = verstrichene Nutzungsdauer

### 6.2.4 KALKULATIONSZINSSATZ

Grundsätzlich müssen Kosten, welche als Entscheidungsgrundlage für Vergleiche herangezogen werden und in der Zukunft anfallen, abgezinst werden, umgekehrt dazu werden Kosten, die bereits in der Vergangenheit angefallen sind aufgezinnt. Entscheidend bei der Berechnung von Lebenszykluskosten ist der Kalkulationszinssatz, welcher dazu dient, Kostenvergleiche zum Zeitpunkt  $t=0$  durchzuführen.

In der Praxis gibt es derzeit keine einheitlichen Festlegungen für die Kalkulationszinssätze. In Extremfällen liegen die Zinssätze zwischen 0% und 10%, in der praktischen Anwendung liegen sie jedoch meist zwischen 2% bis 4%.

Bei der Festsetzung der Höhe des Kalkulationszinssatzes ist zu beachten, dass im Falle einer **Abzinsung** und je höher der Kalkulationszinssatz ist, desto geringer die zukünftigen Kosten in die weiteren Berechnungen eingehen, wenn die Kosten zum Zeitpunkt  $t=0$  verglichen werden. Dies gilt umgekehrt gleichermaßen für die **Aufzinsung**, je höher der Kalkulationszinssatz, desto gewichtiger wirken sich die Kosten auf den Zeitpunkt  $t=0$  aus<sup>68</sup>.

Daraus folgt, dass bei einem niedrigen Kalkulationszinssatz für die Abzinsung die Folgekosten für Instandhaltung und Instandsetzung und die Abbruchkosten einen größeren Anteil an den gesamten Lebenszykluskosten ausmachen, als umgekehrt bei einem hohen Kalkulationszinssatz für die Abzinsung.

<sup>68</sup> (Rainer, 2008) Life Cycle Management - LCM (Ganzheitlicher Managementansatz in der Baubranche); Interpretation der LCC unter Berücksichtigung der Abzinsung vgl. S. 7.



In Österreich und Deutschland wird mit unterschiedlichen Kalkulationszinssätzen gerechnet. In Deutschland gilt der Zinssatz „z“ entsprechend den Bewertungsverfahren des Bundes der inflationsbereinigte Zinssatz von 3 von Hundert = 3% <sup>69</sup>.

In Österreich wird bei der Kapitalisierung von Kosten ein Zinssatz von 4 von Hundert = 4% vorgeschlagen <sup>70</sup>.

Für die nachfolgenden Berechnungen wurde, wenn nicht ausdrücklich anders angegeben mit einem Kalkulationszinssatz von 3% gerechnet.

Dieser Zinssatz stellt derzeit die durchschnittlich zu erwartende Rendite bei Veranlagungen unter Berücksichtigung der Inflation dar. Bei der Festlegung des Kalkulationszinssatzes wurden weder unternehmensspezifische Besonderheiten der Baubranche noch investitionsspezifische Besonderheiten berücksichtigt.

Keinen Eingang in die Berechnung des Kalkulationszinssatzes findet die derzeitige Wirtschaftslage und deren zukünftige Entwicklung.

## 6.3 TECHNISCHE BEGRIFFE

### 6.3.1 NUTZUNGSDAUER

Als Nutzungsdauer wird jene Zeitspanne definiert, für welche die Brücke samt ihren Anlagenteilen in Betrieb gehalten werden kann. Die einzelnen Anlagenteile haben wiederum unterschiedliche Nutzungsdauern. Die Nutzungsdauer ist die maßgebliche Komponente für die Abschreibung. Die Nutzungsdauer darf jedoch nicht direkt mit der Lebensdauer der einzelnen Anlagenteile in Zusammenhang gebracht werden.

Die Nutzungsdauer wird unterschieden in <sup>71</sup>:

- betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer (erfahrungsgemäße mindestens erreichbare Dauer der Einsatzfähigkeit des Anlagenteiles sowie der gesamten Anlage)
- wirtschaftliche Nutzungsdauer (Zeitraum der rentablen Nutzung der Anlage)
- technische Nutzungsdauer (Zeitraum bis zum Verschleiß des Abnutzungsvorrates)

---

<sup>69</sup> (Bundesministerium für Verkehr, 2004) RI-WI-BRÜ, Richtlinie zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahmen bei Straßenbrücken; vgl. S. 18, Zinssatz.

<sup>70</sup> (Jodl, Jurecka, Schranz, & D., 2008) Programmentwicklung Lebenszykluskosten von Brücken (LZKB), Teil 1 – Anforderungen; vgl. S. 15f., Pkt. 4.1.9, Zinssatz „z“.

<sup>71</sup> (Jodl, Jurecka, Schranz, & D., 2008) Programmentwicklung Lebenszykluskosten von Brücken (LZKB), Teil 1 – Anforderungen; vgl. Pkt. 4.3.1.1, Pkt. 4.3.1.2, Pkt. 4.3.1.3, Pkt. 4.3.1.4 S.19ff.

#### 6.3.1.1 betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer

Die betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer betrachtet jenen Zeitraum, in dem ein Wirtschaftsgut voraussichtlich seiner Zweckbestimmung nach benutzt werden kann. Die betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer ist unter Berücksichtigung besonderer Verhältnisse (siehe. 6.1 Relevante Parameter im Lebenszyklus) zu schätzen. Diese subjektive Ansicht erfolgt i.d.R. durch die regelmäßigen Brückenprüfungen, soweit diese nicht den allgemeinen Erfahrungen widersprechen. In der Kostenrechnung bestimmt die betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer direkt den Abschreibungszeitraum.

#### 6.3.1.2 wirtschaftliche Nutzungsdauer

Die wirtschaftliche Nutzungsdauer bestimmt den Zeitraum des rentabilitäts-, liquiditäts- und risikooptimalen Einsatzes der Anlage. Sie bestimmt daher die optimale Nutzungsdauer von Nutzungsbeginn bis zum Ersatzzeitpunkt. Über die Nutzungsdauer einer Brücke ist mit steigenden Instandhaltungskosten und technischen Weiterentwicklungen zu rechnen. Dies führt zu einer starken Divergenz zwischen technischer und wirtschaftlicher Nutzungsdauer, sie ist daher mit der technischen Nutzungsdauer nicht identisch. Das bedeutet, dass ein Bauwerk durchaus noch funktionsfähig ist, während die wirtschaftliche Funktionsfähigkeit nicht mehr gegeben ist.

#### 6.3.1.3 technische Nutzungsdauer

Die technische Nutzungsdauer beschreibt jenen Zeitraum in der die Brücke in der Lage ist, ihren Verwendungszweck innerhalb der technischen- und normativen Grenzwerte (innerhalb des Abnutzungsvorrates) zu erfüllen. Die technische Nutzungsdauer wird daher durch die mechanische Abnutzung der Brücke bestimmt. Durch die Möglichkeit, das technische Nutzungspotential der Anlage durch Instandhaltungen wieder „neu“ aufzufüllen (laufende Ergänzung des Abnutzungsvorrates), übersteigt die technische Nutzungsdauer die wirtschaftliche Nutzungsdauer.

#### 6.3.2 RESTNUTZUNGSDAUER

Die Restnutzungsdauer wird bei der Bestimmung des Kapitaleinsatzes über die noch zu erwartende Lebensdauer interessant. Als Restnutzungsdauer ist stets die Anzahl der Jahre vom Zeitpunkt Null bis zur nächsten theoretischen Erneuerung des Brückenbauwerkes maßgebend. Nach Ablauf der theoretischen Nutzungsdauer beträgt die Restnutzungsdauer Null.

### 6.3.3 THEORETISCHE NUTZUNGSDAUER AN BRÜCKEN UND DEREN BAUTEILE

Die Brückenbauwerkstruktur besteht aus sehr vielen einzelnen Bauteilen. Um die theoretische Bestimmung der Nutzungsdauer zu vereinfachen werden die einzelnen Bauteile zu Hauptbauteilen zusammengefasst. Die Hauptbauteile werden als Unterbau, Tragwerk und Ausrüstung definiert (siehe Anlage 4 – theoretische Nutzungsdauer/jährliche Instandhaltung).



Abb. 10: Bauwerksstruktur - Gliederung

Als **Unterbau (A)** der Brücke werden die tragenden Teile bezeichnet, welche die anfallenden Kräfte in den Untergrund ableiten (siehe Pkt. 3.2.2 Kontrolle und Prüfungen von Brückenbauwerken, Abs. Unterbau). Zum Unterbau zusammengefasst werden Fundamente, Widerlager und Pfeiler, welche die Lasten des Tragwerkes übernehmen und ableiten. Die theoretische Nutzungsdauer liegt für den Unterbau aus Beton bei ca. 110 Jahren, er wird jedoch i.d.R. nach ca. 70 Jahren bei der Erneuerung des Tragwerks mit ausgetauscht.

Das **Tragwerk (B)** besteht aus der Fahrbahnplatte, sowie den konstruktiv notwendigen Teilen um beim Tragwerk die erforderliche Traglast zu erreichen (siehe Pkt. 3.2.2 Kontrolle und Prüfungen von Brückenbauwerken, Abs. Tragwerk). Das Tragwerk hat auch die Aufgabe, die anfallenden Lasten in den Unterbau abzuleiten. Die Nutzungsdauer ist i.d.R. direkt vom Unterbau abhängig und liegt bei ca. 70 Jahren. In der Anlage 4 – theoretische Nutzungsdauer/jährliche Instandhaltung ist eine detailliertere Aufstellung der Nutzungsdauer ersichtlich.

Zur **Ausrüstung** gehören alle Teile, die einer laufenden Abnutzung unterliegen, wobei die Abnutzung der einzelnen Ausrüstungsteile unterschiedlich lange dauern kann. Im Regelfall ist die Nutzungsdauer von Ausrüstungsteilen geringer als jene von Unterbau und Tragwerk. Die Ausrüstung muss daher, betrachtet auf die Lebensdauer, mehrmals ausgetauscht werden. Da die Bewertung der Nutzungsdauer der einzelnen Ausrüstungsteile sehr aufwendig ist, werden die Ausrüstungskosten zur einfacheren Berechnung in zwei Gruppen unterteilt<sup>72</sup>. Die Aufteilung der Ausrüstungskosten wird gemäß der ÖBB-Richtlinie mit 30% und 70% angegeben. Die Aufteilung der Ausrüstung ist für jeden Brückentyp gleich, da die Ausrüstung nicht direkt vom Brückentyp abhängig ist. Unterschieden werden jedoch die jährlichen Instandhaltungskosten. Dem 30%-Ausrüstungsanteil werden Instandhaltungskosten von 1,5%/Jahr und dem 70%-Ausrüstungsanteil werden Instandhaltungskosten von 1,2%/Jahr zugeteilt.

Zusammenfassung der theoretischen Nutzungsdauer der Bauteile sowie der jährlichen Instandhaltungskosten einer Stahlbetonbrücke (vgl. Anlage 4 – theoretische Nutzungsdauer/jährliche Instandhaltung):

Gruppe	Bauteil	Kostenanteil der Bauteile [%]	theoretische Nutzungsdauer [Jahre]	jährliche Instandhal- tungskosten in [%] der Gesamtkosten des Bauteils
A	Unterbau	30	110	0,5
B	Tragwerk	50	70	0,8
C1	30% der gesamten Ausrüstung	20	20	1,5
C2	70% der gesamten Ausrüstung		30	1,2
D	Abbruchkosten 20% der Errichtungskosten			

Tabelle 3: Nutzungsdauern von Bauteilen einer Stahlbetonbrücke

## 6.4 BERECHNUNGSMODELL LEBENSZYKLUSKOSTEN

In einem Lebenszyklusmodell werden die einmaligen Kosten des Bauwerkes dargestellt und im Lebenszykluskostenmodell entsprechend der erforderlichen Methode berechnet. Zu beachten ist, dass Kosten, die früher entstehen und somit Kapital erfordern „teurer“ sind als jene Kosten, die zu einem späteren Zeitpunkt entstehen. Es muss daher je nach Betrachtungszeitpunkt unterschieden werden, welches Modell (Barwertmethode oder Endwertmethode) für eine Berechnung der Lebenszykluskosten zur Anwendung kommt.

<sup>72</sup> (ÖBB, 2006) Richtlinie zur Berechnung der Erhaltungskosten und Ablösungsbeträge von Ingenieurbauwerken, Straßen und Wegen; vgl. Seite 11, Pkt. 2.5.1, Theoretische Nutzungsdauer und Prozentsätze der jährlichen Unterhaltungskosten für Brücken.

#### 6.4.1 LEBENSZYKLUSMODELL NACH DER BARWERTMETHODE<sup>73</sup>

Die Barwertmethode ermöglicht die Berechnung der Lebenszykluskosten, die bezogen auf eine bestimmte Zeitspanne zwischen dem Errichtungszeitpunkt und dem in der Zukunft liegenden Betrachtungszeitpunkt liegen. Der Barwert setzt sich bei einem Brückenbauwerk zusammen aus den Errichtungskosten und der Summe der Barwerte aus den Instandhaltungs- und Instandsetzungskosten.

##### Lebenszykluskosten der Errichtungskosten (Barwert):

$$LZK_{Er}^{BW} = K_{Er}$$

$LZK_{Er}^{BW}$  = Barwert der Lebenszykluskosten der Errichtungskosten

**Formel 8: Lebenszykluskosten der Errichtungskosten nach der Barwertmethode**

$K_{Er}$  = Kosten der Errichtung des Bauwerkes

Der Barwert der Errichtungskosten  $LZK_{Er}^{BW}$  entspricht den Errichtungskosten  $K_{Er}$  des Bauwerkes, da diese zu Beginn des Betrachtungszeitraumes anfallen.

##### Lebenszykluskosten der Instandhaltungskosten (Barwert):

$$LZK_{Ih}^{BW} = K_{Ih} * \frac{q^m - 1}{q^m(q - 1)}$$

$LZK_{Ih}^{BW}$  = Barwert der Lebenszykluskosten der Instandhaltungskosten

**Formel 9: Lebenszykluskosten der Instandhaltungskosten nach der Barwertmethode**

$K_{Ih}$  = Kosten der jährlichen Instandhaltungen

$\frac{q^m - 1}{q^m(q - 1)}$  = Barwertfaktor (nachsüssig)

Der Barwert der jährlich und in gleichmäßiger Höhe anfallenden Instandhaltungskosten  $LZK_{Ih}^{BW}$  ergibt sich aus der Summe der Barwerte der Instandhaltungskosten  $K_{Ih}$  bei einer nachschüssigen Rentenrechnung, die über den Betrachtungszeitraum der Berechnung anfallen.

<sup>73</sup> (Jodl, Jurecka, Schranz, & D., 2008) Programmentwicklung Lebenszykluskosten von Brücken (LZKB), Teil 1 – Anforderungen; vgl. Pkt 7.1, Lebenszyklusmodell nach der Barwertmethode.

Lebenszykluskosten der Instandsetzungskosten (Barwert):

$$LZK_{Is}^{BW} = K_{Is} * \frac{1}{q^m}$$

$LZK_{Is}^{BW}$  = Barwert der Lebenszykluskosten der Instandsetzungskosten

Formel 10: Lebenszykluskosten der Instandsetzungskosten nach der Barwertmethode

$K_{Is}$  = Kosten der Instandsetzungsmaßnahme

$\frac{1}{q^m}$  = Abzinsungsfaktor

Der Barwert der Instandsetzungskosten  $LZK_{Is}^{BW}$  entspricht den Instandsetzungskosten  $K_{Is}$  des Bauwerkes zum Zeitpunkt des Anfallens der Kosten unter Berücksichtigung der Abzinsung.

#### 6.4.2 LEBENSZYKLUSMODELL NACH DER ENDWERTMETHODE <sup>74</sup>

Die Endwertmethode ermöglicht die Berechnung der Lebenszykluskosten, die bezogen auf eine bestimmte Zeitspanne zwischen dem in der Vergangenheit liegenden Errichtungszeitpunkt und dem gegenwärtigen Betrachtungszeitpunkt liegt. Der Endwert setzt sich bei einem Brückenbauwerk zusammen aus dem Endwert der Errichtungskosten und der Summe der Endwerte aus den Instandhaltungs- und Instandsetzungskosten.

Lebenszykluskosten der Errichtungskosten (Endwert):

$$LZK_{Er}^{EW} = K_{Er} * q_m$$

$LZK_{Er}^{EW}$  = Endwert der Lebenszykluskosten der Errichtungskosten

Formel 11: Lebenszykluskosten der Errichtungskosten nach der Endwertmethode

$K_{Er}$  = Kosten der Errichtung des Bauwerkes

$q_m$  = Aufzinsungsfaktor

Der Endwert der Errichtungskosten  $LZK_{Er}^{EW}$  entspricht den aufgezinsten Errichtungskosten  $K_{Er}$  des Bauwerkes über den Betrachtungszeitraum bis zum Betrachtungszeitpunkt.

<sup>74</sup> (Jodl, Jurecka, Schranz, & D., 2008) Programmentwicklung Lebenszykluskosten von Brücken (LZKB), Teil 1 – Anforderungen; vgl. Pkt. 7.2, Lebenszyklusmodell nach der Endwertmethode.

Lebenszykluskosten der Instandhaltungskosten (Endwert):

$$LZK_{Ih}^{EW} = K_{jIh} * \frac{q^m - 1}{q - 1}$$

$LZK_{Ih}^{EW}$  = Endwert der Lebenszykluskosten der Instandhaltungskosten

**Formel 12:** Lebenszykluskosten der Instandhaltungskosten nach der Endwertmethode

$K_{jIh}$  = Kosten der jährlichen Instandhaltungen

$\frac{q^m - 1}{q - 1}$  = Endwertfaktor (nachsüssig)

Der Endwert der jährlich und in gleichmäßiger Höhe anfallenden Instandhaltungskosten  $LZK_{Ih}^{EW}$  ergibt sich aus der Summe der Endwerte der Instandhaltungskosten  $K_{jIh}$  bei einer nachschüssigen Rentenrechnung, die über den Betrachtungszeitraum der Berechnung anfallen.

Lebenszykluskosten der Instandsetzungskosten (Endwert):

$$LZK_{Is}^{EW} = * K_{Is} * q_m$$

$LZK_{Is}^{EW}$  = Barwert der Lebenszykluskosten der Instandsetzungskosten

**Formel 13:** Lebenszykluskosten der Instandsetzungskosten nach der Endwertmethode

$K_{Is}$  = Kosten der Instandsetzungsmaßnahme

$q_m$  = Aufzinsungsfaktor

Der Endwert der Instandsetzungskosten  $LZK_{Is}^{EW}$  entspricht den Instandsetzungskosten  $K_{Is}$  zum Zeitpunkt des Anfallens unter Berücksichtigung der Aufzinsung der Kosten über den Zeitraum des Anfalls der Instandsetzungskosten bis zum Betrachtungszeitpunkt.

## 6.5 MODELLBEISPIEL<sup>75</sup>

Zur Berechnung des Beispielmodeselles wird eine Stahlbetonbrücke herangezogen, deren Unterbau und Rohtragwerk aus Stahlbeton bestehen. Die Brücke hat die Ausmaße von 35m x 10m, dies entspricht in etwa einer Standardbrücke, welche im Regelfall aus Stahlbeton nach technischen Maßgaben ohne konstruktiven Mehraufwand errichtet werden kann. Der durchschnittliche m<sup>2</sup>-Preis für die Errichtung einer Stahlbetonbrücke dieser Größe beträgt € 1.700,-(netto). Daraus folgen Gesamtkosten von € 595.000,- (rd. € 600.000,-). Die Kostenaufteilung der Bauteile sowie die Bestimmung der theoretischen Nutzungsdauer und der jährlichen Instandhaltungskosten wird aus Tabelle 3: Nutzungsdauern von Bauteilen einer Stahlbetonbrücke entnommen. Der Planungsanteil von 5% (rd. € 30.000,-) wird auf die Errichtungskosten (rd. € 600.000,-) aufgeschlagen. Die Gesamtkosten betragen somit (rd. € 630.000,-). Der Betrachtungszeitraum des Bauwerkes wird mit 70 Jahren festgelegt. Die Berechnungen erfolgen mit einem Kalkulationszinssatz von 3% (6.2.4 Kalkulationszinssatz).

<sup>75</sup> sämtliche Berechnungswerte sind gerundete Werte, gerundet wird wo möglich in 1.000er Schritten.

Berechnungsgrundlagen:

Gruppe	Bauteil	Errichtungskosten	m [Jahre]	p [%]
A	Unterbau	€ 189.000	110	0,5
B	Tragwerk	€ 315.000	70	0,8
C1	30% der gesamten Ausrüstung	€ 38.000	20	1,5
C2	70% der gesamten Ausrüstung	€ 88.000	30	1,2
D	Abbruchkosten 20% der Errichtungskosten			

**Tabelle 4: Bestandteile der Brücke, deren Kosten sowie theoretische Nutzungsdauer und Prozentsätze der jährlichen Unterhaltskosten**

**6.5.1 BEISPIELRECHNUNG NACH DER BARWERTMETHODE**

Gruppe A:

- Unterbau [UB] aus Stahlbeton
- Errichtungskosten € 189.000 [ $K_{Er,UB}$ ]
- jährliche Unterhaltskosten [ $K_{Jl,UB} = K_{Er,UB} * p$ ]
- Abbruchkosten [ $K_{Abb,UB} = K_{Er,UB} * 20\%$ ]

$$\underline{LZK_{Er,UB}^{BW} = LZK \text{ Barwert, Errichtung, Unterbau}}$$

$$LZK_{Er,UB}^{BW} = K_{Er,UB} = 189.000 \text{ €}$$

$$\underline{LZK_{Jl,UB}^{BW} = LZK \text{ Barwert, Instandhaltung, Unterbau}}$$

$$LZK_{Jl,UB}^{BW} = K_{Jl,UB} * \frac{q^m - 1}{q^m(q - 1)} = K_{Er,UB} * p * \frac{q^m - 1}{q^m(q - 1)} =$$

$$189.000 * 0,005 * \frac{1,03^{70} - 1}{1,03^{70}(1,03 - 1)} = 945 * 29,12 = 28.000 \text{ €}$$

$$\underline{LZK_{Abb,UB}^{BW} = LZK \text{ Barwert, Abbruch, Unterbau}}$$

$$LZK_{Abb,UB}^{BW} = K_{Abb,UB} * \frac{1}{q^m} = K_{Er,UB} * 20\% * \frac{1}{q^m} =$$

$$189.000 * 0,20 * \frac{1}{1,03^{70}} = 37.800 * 0,13 = 5.000 \text{ €}$$

$$\underline{\text{Summe Gruppe A – Unterbau} \quad \quad \quad \mathbf{222.000 \text{ €}}}$$



Gruppe B:

- Tragwerk [TW] aus Stahlbeton
- Errichtungskosten € 315.000 [ $K_{Er,TW}$ ]
- jährliche Unterhaltskosten [ $K_{jIh,TW} = K_{Er,TW} * p$ ]
- Abbruchkosten [ $K_{Abb,TW} = K_{Er,TW} * 20\%$ ]

$$\underline{LZK_{Er,TW}^{BW} = LZK \text{ Barwert, Errichtung, Tragwerk}}$$

$$LZK_{Er,TW}^{BW} = K_{Er,TW} = 315.000 \text{ €}$$

$$\underline{LZK_{Ih,TW}^{BW} = LZK \text{ Barwert, Instandhaltung, Tragwerk}}$$

$$LZK_{Ih,TW}^{BW} = K_{jIh,TW} * \frac{q^m - 1}{q^m(q - 1)} = K_{Er,TW} * p * \frac{q^m - 1}{q^m(q - 1)} =$$

$$315.000 * 0,008 * \frac{1,03^{70} - 1}{1,03^{70}(1,03 - 1)} = 2.520 * 29,12 \quad 73.000 \text{ €}$$

$$\underline{LZK_{Abb,TW}^{BW} = LZK \text{ Barwert, Abbruch, Tragwerk}}$$

$$LZK_{Abb,TW}^{BW} = K_{Abb,TW} * \frac{1}{q^m} = K_{Er,TW} * 20\% * \frac{1}{q^m} =$$

$$315.000 * 0,20 * \frac{1}{1,03^{70}} = 63.000 * 0,13 \quad 8.000 \text{ €}$$

$$\underline{\text{Summe Gruppe B – Tragwerk} \quad 396.000 \text{ €}}$$

Gruppe C1:

- Ausrüstung 30% [A30] aus Stahlbeton
- Errichtungskosten € 38.000 [ $K_{Er,A30}$ ]
- jährliche Unterhaltskosten [ $K_{jIh,A30} = K_{Er,A30} * p$ ]
- Instandsetzungsintervalle nach 20, 40 und 60 Jahren
- Abbruchkosten [ $K_{Abb,A30} = K_{Er,A30} * 20\%$ ]

$$\underline{LZK_{Er,A30}^{BW} = LZK \text{ Barwert, Errichtung, Ausrüstung 30\%}}$$

$$LZK_{Er,A30}^{BW} = K_{Er,A30} = 38.000 \text{ €}$$

## Lebenszykluskosten von Brückenbauwerken in Vorarlberg

### Lebenszykluskostenmodell

$LZK_{Ih,A30}^{BW}$  = LZK Barwert, Instandhaltung, Ausrüstung 30%

$$LZK_{Ih,A30}^{BW} = K_{jIh,A30} * \frac{q^m - 1}{q^m(q - 1)} = K_{Er,A30} * p * \frac{q^m - 1}{q^m(q - 1)} =$$

$$38.000 * 0,015 * \frac{1,03^{70} - 1}{1,03^{70}(1,03 - 1)} = 570 * 29,12 \quad 17.000 \text{ €}$$

$LZK_{Is,A30}^{BW}$  = LZK Barwert, Instandsetzung, Ausrüstung 30%

$$LZK_{Is,A30}^{BW} = K_{Is,A30} * \left( \frac{1}{q^{20}} + \frac{1}{q^{40}} + \frac{1}{q^{60}} \right) = 38.000 * \left( \frac{1}{1,03^{20}} + \frac{1}{1,03^{40}} + \frac{1}{1,03^{60}} \right) =$$

$$38.000 * (0,55 + 0,31 + 0,17) = 38.000 * 1,03 = \quad 39.000 \text{ €}$$

$LZK_{Abb,Is,A30}^{BW}$  = LZK Barwert, Abbruch Instandsetzung, Ausrüstung 30%

$$LZK_{Abb,Is,A30}^{BW} = K_{Is,A30} * 20\% * \left( \frac{1}{q^{20}} + \frac{1}{q^{40}} + \frac{1}{q^{60}} \right) = 7.600 * \left( \frac{1}{1,03^{20}} + \frac{1}{1,03^{40}} + \frac{1}{1,03^{60}} \right) =$$

$$7.600 * (0,55 + 0,31 + 0,17) = 7.600 * 1,03 = \quad 8.000 \text{ €}$$

$LZK_{Abb,A30}^{BW}$  = LZK Barwert, Abbruch, Ausrüstung 30%

$$LZK_{Abb,A30}^{BW} = K_{Abb,A30} * \frac{1}{q^m} = K_{Er,A30} * 20\% * \frac{1}{q^m} =$$

$$38.000 * 0,20 * \frac{1}{1,03^{70}} = 7.600 * 0,13 \quad 1.000 \text{ €}$$

**Summe Gruppe C1– Ausrüstung 30% 103.000 €**

### Gruppe C2:

- Ausrüstung 70% [A70] aus Stahlbeton
- Errichtungskosten € 88.000 [ $K_{Er,A70}$ ]
- jährliche Unterhaltskosten [ $K_{jIh,A70} = K_{Er,A70} * p$ ]
- Instandsetzungsintervalle nach 30 und 60 Jahren
- Abbruchkosten [ $K_{Abb,A70} = K_{Er,A70} * 20\%$ ]

$LZK_{Er,A70}^{BW}$  = LZK Barwert, Errichtung, Ausrüstung 70%

$$LZK_{Er,A70}^{BW} = K_{Er,A70} = \quad 88.000 \text{ €}$$

$LZK_{Ih,A70}^{BW}$  = LZK Barwert, Instandhaltung, Ausrüstung 70%

$$LZK_{Ih,A70}^{BW} = K_{jIh,A70} * \frac{q^m - 1}{q^m(q - 1)} = K_{Er,A70} * p * \frac{q^m - 1}{q^m(q - 1)} =$$

$$88.000 * 0,012 * \frac{1,03^{70} - 1}{1,03^{70}(1,03 - 1)} = 1.056 * 29,12 \quad 31.000 \text{ €}$$

## Lebenszykluskosten von Brückenbauwerken in Vorarlberg

### Lebenszykluskostenmodell

$LZK_{Is,A70}^{BW}$  = LZK Barwert, Instandsetzung, Ausrüstung 70%

$$LZK_{Is,A70}^{BW} = K_{Is,A70} * \left( \frac{1}{q^{30}} + \frac{1}{q^{60}} \right) = 88.000 * \left( \frac{1}{1,03^{30}} + \frac{1}{1,03^{60}} \right) =$$
$$88.000 * (0,41 + 0,17) = 88.000 * 0,58 = 51.000 \text{ €}$$

$LZK_{Abb,Is,A70}^{BW}$  = LZK Barwert, Abbruch, Instandsetzung, Ausrüstung 70%

$$LZK_{Abb,Is,A70}^{BW} = K_{Is,A70} * 20\% * \left( \frac{1}{q^{30}} + \frac{1}{q^{60}} \right) = 88.000 * 20\% * \left( \frac{1}{1,03^{30}} + \frac{1}{1,03^{60}} \right) =$$
$$17.600 * (0,41 + 0,17) = 17.600 * 0,58 = 10.000 \text{ €}$$

$LZK_{Abb,A70}^{BW}$  = LZK Barwert, Abbruch, Ausrüstung 70%

$$LZK_{Abb,A70}^{BW} = K_{Abb,A70} * \frac{1}{q^m} = K_{Er,A70} * 20\% * \frac{1}{q^m} =$$
$$88.000 * 0,20 * \frac{1}{1,03^{70}} = 17.600 * 0,13 = 2.000 \text{ €}$$

Summe Gruppe C2 – Ausrüstung 70% **182.000 €**

### Restwert Gruppe A:

$RW_{nu,UB}^{BW}$  = RW Barwert, verstrichene Nutzungsdauer, Unterbau

$$RW_{nu,UB}^{BW} = K_{Er,UB} * \frac{m-nu}{m} * \frac{1}{q^m} = 189.000 * \frac{110-70}{110} * \frac{1}{1,03^{110}} = 3.000 \text{ €}$$

### Restwert Gruppe B:

$RW_{nu,TW}^{BW}$  = RW Barwert, verstrichene Nutzungsdauer, Tragwerk

$$RW_{nu,TW}^{BW} = K_{Er,TW} * \frac{m-nu}{m} * \frac{1}{q^m} = 315.000 * \frac{70-70}{70} * \frac{1}{1,03^{70}} = 0 \text{ €}$$

### Restwert Gruppe C1:

$RW_{nu,A30}^{BW}$  = RW Barwert, verstrichene Nutzungsdauer, Ausrüstung 30%

$$RW_{nu,A30}^{BW} = K_{Er,A30} * \frac{m-nu}{m} * \frac{1}{q^m} = 38.000 * \frac{20-10}{20} * \frac{1}{1,03^{20}} = 11.000 \text{ €}$$

### Restwert Gruppe C2:

$RW_{nu,A70}^{BW}$  = RW Barwert, verstrichene Nutzungsdauer, Ausrüstung 70%

$$RW_{nu,A70}^{BW} = K_{Er,A70} * \frac{m-nu}{m} * \frac{1}{q^m} = 88.000 * \frac{30-20}{30} * \frac{1}{1,03^{30}} = 12.000 \text{ €}$$

Zusammenstellung der Ergebnisse der Lebenszykluskosten zum Zeitpunkt der Errichtung nach einer Nutzungsdauer von 70 Jahren.

Gruppe	Bauteil	Errichtungs-kosten	LZK Barwert	Restwert Barwert	Faktor LZK/Err
A	Unterbau	€ 189.000	€ 222.000	€ 3.000	1,17
B	Tragwerk	€ 315.000	€ 396.000	€ -	1,26
C1	Ausrüstung 30%	€ 38.000	€ 103.000	€ 11.000	2,71
C2	Ausrüstung 70%	€ 88.000	€ 182.000	€ 12.000	2,07
<b>LZK Gesamt</b>		<b>€ 630.000</b>	<b>€ 903.000</b>	<b>€ 26.000</b>	<b>1,43</b>

Tabelle 5: Ergebnistabelle, Beispielrechnung nach der Barwertmethode

Die LZK nach der Barwertmethode betragen über die Nutzungsdauer von 70 Jahren das 1,4-fache. Ersichtlich ist auch, dass das Tragwerk einen Restwert von „Null“ hat und erneuert werden soll, was erhebliche Kosten verursacht. Die Ausrüstung erreicht nach der Nutzungsdauer einen Wert von mehr als den doppelten Errichtungskosten. Nach 70 Jahren Nutzung sind daher je nach Bauteil große Investitionen erforderlich oder es ist bereits eine Neuerrichtung zu überdenken.

#### 6.5.2 BEISPIELRECHNUNG NACH DER ENDWERTMETHODE

##### Gruppe A:

- Unterbau [UB] aus Stahlbeton
- Errichtungskosten € 189.000 [ $K_{Er,UB}$ ]
- jährliche Unterhaltskosten [ $K_{jIh,UB} = K_{Er,UB} * p$ ]
- Abbruchkosten [ $K_{Abb,UB} = K_{Er,UB} * 20\%$ ]

$$\underline{LZK_{Er,UB}^{EW} = LZK \text{ Endwert, Errichtung, Unterbau}}$$

$$LZK_{Er,UB}^{EW} = K_{Er,UB} * q^m = 189.000 * 1,03^{70} = 1.496.000 \text{ €}$$

$$\underline{LZK_{Ih,UB}^{EW} = LZK \text{ Endwert, Instandhaltung, Unterbau}}$$

$$LZK_{Ih,UB}^{EW} = K_{jIh,UB} * \frac{q^m - 1}{(q - 1)} = K_{Er,UB} * p * \frac{q^m - 1}{(q - 1)} =$$

$$189.000 * 0,005 * \frac{1,03^{70} - 1}{(1,03 - 1)} = 945 * 230,59 = 218.000 \text{ €}$$

$$\underline{LZK_{Ih,UB}^{EW} = LZK \text{ Endwert, Abbruch, Unterbau}}$$

$$LZK_{Abb,UB}^{EW} = K_{Abb,UB} * q^m = K_{Er,UB} * 20\% * q^m =$$

$$189.000 * 0,20 * 1,03^{70} = 37.800 * 7,92 \quad 299.000 \text{ €}$$

---


$$\text{Summe Gruppe A – Unterbau} \quad \underline{\underline{2.013.000 \text{ €}}}$$

Gruppe B:

- Tragwerk [TW] aus Stahlbeton
- Errichtungskosten € 315.000 [ $K_{Er,TW}$ ]
- jährliche Unterhaltskosten [ $K_{Ih,TW} = K_{Er,TW} * p$ ]
- Abbruchkosten [ $K_{Abb,TW} = K_{Er,TW} * 20\%$ ]

$$\underline{LZK_{Er,TW}^{EW} = LZK \text{ Endwert, Errichtung, Tragwerk}}$$

$$LZK_{Er,TW}^{EW} = K_{Er,TW} * q^m = 315.000 * 1,03^{70} = \quad 2.494.000 \text{ €}$$

$$\underline{LZK_{Ih,TW}^{EW} = LZK \text{ Endwert, Instandhaltung, Tragwerk}}$$

$$LZK_{Ih,TW}^{EW} = K_{Ih,TW} * \frac{q^m - 1}{(q - 1)} = K_{Er,TW} * p * \frac{q^m - 1}{(q - 1)} =$$

$$315.000 * 0,008 * \frac{1,03^{70} - 1}{(1,03 - 1)} = 2.520 * 230,59 \quad 581.000 \text{ €}$$

$$\underline{LZK_{Abb,TW}^{EW} = LZK \text{ Endwert, Abbruch, Tragwerk}}$$

$$LZK_{Abb,TW}^{EW} = K_{Abb,TW} * q^m = K_{Er,TW} * 20\% * q^m =$$

$$315.000 * 0,20 * 1,03^{70} = 63.000 * 7,92 \quad 499.000 \text{ €}$$

---


$$\text{Summe Gruppe B – Tragwerk} \quad \underline{\underline{3.574.000 \text{ €}}}$$

Gruppe C1:

- Ausrüstung 30% [A30] aus Stahlbeton
- Errichtungskosten € 38.000 [ $K_{Er,A30}$ ]
- jährliche Unterhaltskosten [ $K_{Ih,A30} = K_{Er,A30} * p$ ]
- Instandsetzungsintervalle nach 20, 40 und 60 Jahren
- Abbruchkosten [ $K_{Abb,A30} = K_{Er,A30} * 20\%$ ]

$$\underline{LZK_{Er,A30}^{EW} = LZK \text{ Endwert, Errichtung, Ausrüstung 30\%}}$$

$$LZK_{Er,A30}^{EW} = K_{Er,A30} * q^m = 38.000 * 1,03^{70} = 301.000 \text{ €}$$

$$\underline{LZK_{Ih,A30}^{EW} = LZK \text{ Endwert, Instandhaltung, Ausrüstung 30\%}}$$

$$LZK_{Ih,A30}^{EW} = K_{Ih,A30} * \frac{q^m - 1}{(q - 1)} = K_{Er,A30} * p * \frac{q^m - 1}{(q - 1)} =$$

$$38.000 * 0,015 * \frac{1,03^{70} - 1}{(1,03 - 1)} = 570 * 230,59 = 131.000 \text{ €}$$

$$\underline{LZK_{Is,A30}^{EW} = LZK \text{ Endwert, Instandsetzung, Ausrüstung 30\%}}$$

$$LZK_{Is,A30}^{EW} = K_{Is,A30} * (q^{20} + q^{40} + q^{60}) = 38.000 * (1,03^{20} + 1,03^{40} + 1,03^{60}) =$$

$$38.000 * (1,81 + 3,26 + 5,89) = 38.000 * 10,96 = 416.000 \text{ €}$$

$$\underline{LZK_{Is,A30}^{EW} = LZK \text{ Endwert, Abbruch - Instandsetzung, Ausrüstung 30\%}}$$

$$LZK_{Abb,Is,A30}^{EW} = K_{Is,A30} * 20\% * (q^{20} + q^{40} + q^{60}) = 7.600 * (1,03^{20} + 1,03^{40} + 1,03^{60}) =$$

$$7.600 * (1,81 + 3,26 + 5,89) = 7.600 * 10,96 = 83.000 \text{ €}$$

$$\underline{LZK_{Abb,A30}^{EW} = LZK \text{ Endwert, Abbruch, Ausrüstung 30\%}}$$

$$LZK_{Abb,A30}^{EW} = K_{Abb,A30} * q^m = K_{Er,A30} * 20\% * q^m =$$

$$38.000 * 0,20 * 1,03^{70} = 7.600 * 7,92 = 60.000 \text{ €}$$

---


$$\text{Summe Gruppe C1- Ausrüstung 30\%} \quad \quad \quad \mathbf{991.000 \text{ €}}$$


---

Gruppe C2:

- Ausrüstung 70% [A70] aus Stahlbeton
- Errichtungskosten € 88.000 [ $K_{Er,A70}$ ]
- jährliche Unterhaltskosten [ $K_{Ih,A70} = K_{Er,A70} * p$ ]
- Instandsetzungsintervalle nach 30 und 60 Jahren
- Abbruchkosten [ $K_{Abb,A70} = K_{Er,A70} * 20\%$ ]

## Lebenszykluskosten von Brückenbauwerken in Vorarlberg

### Lebenszykluskostenmodell

$LZK_{Er,A70}^{EW} = LZK \text{ Endwert, Errichtung, Ausrüstung } 70\%$

$$LZK_{Er,A70}^{EW} = K_{er,A30} * q^m = 88.000 * 1,03^{70} = 697.000 \text{ €}$$

$LZK_{Ih,A70}^{EW} = LZK \text{ Endwert, Instandhaltung, Ausrüstung } 70\%$

$$LZK_{Ih,A70}^{EW} = K_{jIh,A70} * \frac{q^m - 1}{(q - 1)} = K_{Er,A70} * p * \frac{q^m - 1}{(q - 1)} =$$

$$88.000 * 0,012 * \frac{1,03^{70} - 1}{(1,03 - 1)} = 1.056 * 230,59 = 244.000 \text{ €}$$

$LZK_{Is,A70}^{EW} = LZK \text{ Endwert, Instandsetzung, Ausrüstung } 70\%$

$$LZK_{Is,A70}^{EW} = K_{Is,A70} * (q^{30} + q^{60}) = 88.000 * (1,03^{30} + 1,03^{60}) =$$

$$88.000 * (2,43 + 5,89) = 88.000 * 8,32 = 732.000 \text{ €}$$

$LZK_{Is,A70}^{EW} = LZK \text{ Endwert, Abbruch - Instandsetzung, Ausrüstung } 70\%$

$$LZK_{Abb,Is,A70}^{EW} = K_{Is,A70} * 20\% * (q^{30} + q^{60}) = 88.000 * 20\% * (1,03^{30} + 1,03^{60}) =$$

$$17.600 * (2,43 + 5,89) = 17.600 * 8,32 = 146.000 \text{ €}$$

$LZK_{Abb,A70}^{EW} = LZK \text{ Endwert, Abbruch, Ausrüstung } 70\%$

$$LZK_{Abb,A70}^{EW} = K_{Abb,A70} * q^m = K_{er,A30} * 20\% * q^m =$$

$$88.000 * 0,20 * 1,03^{70} = 17.600 * 7,92 = 139.000 \text{ €}$$

**Summe Gruppe C2 – Ausrüstung 70% 1.958.000 €**

#### Restwert Gruppe A:

$RW_{nu,UB}^{EW} = RW \text{ Endwert, verstrichene Nutzungsdauer, Unterbau}$

$$RW_{nu,UB}^{EW} = K_{er,UB} * \frac{m-nu}{m} = 189.000 * \frac{110-70}{110} = 69.000 \text{ €}$$

#### Restwert Gruppe B:

$RW_{nu,TW}^{EW} = RW \text{ Endwert, verstrichene Nutzungsdauer, Tragwerk}$

$$RW_{nu,TW}^{EW} = K_{er,TW} * \frac{m-nu}{m} = 315.000 * \frac{70-70}{70} = 0 \text{ €}$$

#### Restwert Gruppe C1:

$RW_{nu,A30}^{EW} = RW \text{ Endwert, verstrichene Nutzungsdauer, Ausrüstung } 30\%$

$$RW_{nu,A30}^{EW} = K_{er,A30} * \frac{m-nu}{m} = 38.000 * \frac{20-10}{20} = 19.000 \text{ €}$$

Restwert Gruppe C2:

$RW_{nu,A70}^{EW} = RW \text{ Endwert, verstrichene Nutzungsdauer, Ausrüstung 70\%}$

$$RW_{nu,A70}^{EW} = K_{Er,A70} * \frac{m-nu}{m} = 88.000 * \frac{30-20}{30} = 29.000 \text{ €}$$

Zusammenstellung der Ergebnisse der Lebenszykluskosten zum Zeitpunkt des Lebensendes bei einer Nutzungsdauer von 70 Jahren.

Gruppe	Bauteil	Errichtungs-kosten	LZK Endwert	Restwert Endwert	Faktor LZK/Err
A	Unterbau	€ 189.000	€ 2.013.000	€ 69.000	10,65
B	Tragwerk	€ 315.000	€ 3.574.000	€ 0	11,35
C1	Ausrüstung 30%	€ 38.000	€ 991.000	€ 19.000	26,07
C2	Ausrüstung 70%	€ 88.000	€ 1.958.000	€ 29.000	22,25
<b>LZK Gesamt</b>		<b>€ 630.000</b>	<b>€ 8.536.000</b>	<b>€ 117.000</b>	<b>13,55</b>

**Tabelle 6: Ergebnistabelle, Beispielrechnung nach der Endwertmethode**

Die LZK nach der Endwertmethode ergeben ein ähnliches Erscheinungsbild wie die Berechnung nach der Barwertmethode. Es wird ersichtlich, dass die Kosten der Ausrüstung ein Vielfaches der Errichtungskosten betragen, die Tragwerkserneuerung ansteht und daher auf Basis dieser Ergebnisse die weiteren Schritte neu analysiert werden müssen.

## 6.6 RESÜMEE BERECHNUNG LEBENSZYKLUSMODELL

Aus den Berechnungsmethoden wird ersichtlich wie sich der Kostenaufwand der einzelnen Bauteile über die Nutzungsdauer von 70 Jahren entwickelt.

So zeigt die Barwertmethode, dass der Kapitalmehraufwand für Unterbau und Tragwerk das ca. 1,43-Fache beträgt, hingegen ist bei der Ausrüstung bereits nach 70 Nutzungsjahren mit einer Verdoppelung der zu erwartenden Kosten zu rechnen. Die Endwertmethode zeigt den erforderlichen Kapitaleinsatz nach 70 Jahren rückblickend auf die Nutzungsdauer, wobei eine Vervielfachung der Errichtungskosten erfolgt ist.

Die Modelle zeigen auch, dass die theoretische Nutzungsdauer des Tragwerkes abgelaufen ist und eine kostenintensive Instandsetzungsmaßnahme (vorbehaltlich einer Tragwerksprüfung) unmittelbar bevorsteht, und daher die Nutzung aus Gründen der Verkehrs- und Standsicherheit i.d.R. nicht mehr lange oder nur mit enormem Kostenaufwand erhalten werden kann.



## 7 OPTIMIERUNG DER LZK-PARAMETER

Das Lebenszykluskostenmodell beschreibt den theoretischen Ablauf der Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen. In der Praxis sollten die erforderlichen Maßnahmen an den Bauteilen zusammengefasst werden um Synergien in der Planung der Sanierungsmaßnahmen und Optimierungen in der Bauabwicklung zu erreichen. Eine Zusammenfassung von Maßnahmen auf mehrere Bauteile erfordert eine Änderung der Parameter in der Lebenszyklusberechnung. Das bedeutet, dass eine Verkürzung der Instandsetzungsintervalle geringere anteilige Instandsetzungskosten erfordert, und umgekehrt eine Verlängerung der Instandsetzungsintervalle höhere anteilige Instandsetzungskosten erfordert.

Eine Veränderung von Eingangsparametern, die Kosten der Bauteile, die technische Nutzungsdauer sowie die Prozentsätze für die jährlichen Unterhaltskosten, wirken sich unterschiedlich bei der Berechnung der Lebenszykluskosten aus. In Anlage 4 – theoretische Nutzungsdauer/jährliche Instandhaltung – sind die standardisierten Parameter für die einzelnen Bauteile dargestellt.

Zur Bestimmung der Lebenszykluskosten bilden weiters der Kalkulationszinssatz und Kostenansatz für die Errichtung von Bauwerken eine wichtige Größe. Beide Parameter sind von der Wirtschaftslage abhängig und unterliegen konjunkturellen Schwankungen, die oft sehr schwer einzuschätzen sind.

Gesamthaft sind die einzelnen Eingangsparameter so weit zu prüfen, dass am Ende des Durchrechnungszeitraums die Schwankungen möglichst gering gehalten werden können.

### 7.1 GRUNDLAGE – KOSTENANSÄTZE FÜR BRÜCKEN

Die Grundlagen für die Ermittlung der Kostenansätze bildet das Leistungsbuch für Verkehrsinfrastruktur<sup>76</sup> in welchem sämtliche zu erbringende Leistungen in Art und Umfang detailliert beschrieben sind. Aus den Positionen des Leistungsbuchs werden die Leistungen des Brückenbauwerkes zusammengefasst und Preisanfragen bei den Bietern eingeholt. Aus mehreren Leistungsanfragen wird dann der Mittelpreis gebildet. Der Mittelpreis wird im Normalfall aus den Preisanfragen des vergangenen Jahres zuzüglich des Baukostenindex für Straßenbau<sup>77</sup> gebildet.

Die Problematik bei den Kostenansätzen liegt in der weiten Streuung der Preisgestaltung der Bieter. Diese Anfragen werden auf dem freien Markt gestellt und unterliegen den Anforderungen von Angebot und Nachfrage, dadurch ist teilweise mit erheblichen Preisschwankungen zu rechnen. Den Zuschlag erhält der Bestbieter (meistens der Billigstbieter). Diese Zahlen finden

---

<sup>76</sup> (FSV-Wien, 2008) Standardisierte Leistungsbeschreibung - LB-Verkehrsinfrastruktur VI 01 200810.

<sup>77</sup> (Austria) Baukostenindex für Straßenbau; Der Baukostenindex für Straßenbau wird von der „Statistik Austria“ monatlich neu bewertet.

den Eingang in die Mittelpreisbewertung. Der Einfluss der derzeitigen Wirtschaftskrise verstärkt diese Preisschwankungen noch stärker, und die Gefahr von Spekulationsangeboten steigt erheblich und verursacht eine starke Verwässerung der Kostenansätze.

Langfristig, über die theoretische Nutzungsdauer einer Brücke und deren Gruppenbauteile, gesehen kann die derzeit diskutierte Wirtschaftskrise vernachlässigt werden, da sich diese Schwankungen in der Preisgestaltung und in der Kostenentwicklung aufgrund des langen Durchrechnungszeitraumes gegenseitig aufheben werden. Die Schwierigkeit der Ermittlung von realistischen aktuellen Preisen für die einzelnen Leistungen liegt jedoch im Kostenansatz in einer Niedrigpreisphase wie sie sich derzeit darstellt. Diese zu niedrigen Preisniveaus beschreiben über die Lebenszyklusdauer ein zu flaches Erscheinungsbild. Daher sind die Kostenansätze vor der Zusammenfassung der Kosten auf die Bauteilgruppen auf Plausibilität zu prüfen und gegebenenfalls anzupassen.

Nach der Entscheidung für den Brückentyp sind die Ausführungsqualität und der Materialeinsatz für die Kostenansätze maßgeblich. Das Leistungsbuch schreibt nur eine Mindestanforderung vor, um Preiskalkulationen vergleichbar zu machen. Wird ein gesonderter Materialeinsatz gewünscht so ist dieser bei der Preisanfrage zu berücksichtigen. Der gesonderte, meist qualitativ hochwertigere Materialeinsatz ist je nach Nutzung und Belastung der Brücke über den geplanten Lebenszyklus von Vorteil nicht aber generell erforderlich. Diese qualitativen Verbesserungen finden hauptsächlich in der Bauteilgruppe „Ausrüstung“ Verwendung, um den Lebenszyklus zu verlängern und an die anderen Bauteile anzupassen. Da wiederum die Ausrüstung ein maßgeblicher Eingangsparameter einer Brücke ist, ist den Kostenansätzen der Ausrüstung genaueres Augenmerk zu schenken.

## 7.2 BERECHNUNG – ANTEIL BAUTEILKOSTENSUMME

Je nach Größe des Brückenbauwerkes verhalten sich die anfallenden Kosten der einzelnen Bauteile zueinander unterschiedlich. Je nach Bautyp verlagern sich die Kosten für die Errichtung auf andere Bauteile, und haben bei der LZK-Ermittlung unterschiedlichen Einfluss auf die Gesamtkosten über die Lebensdauer.

Die Ermittlung der Bauteilsummen wird aus der Kostenschätzung entnommen (siehe Anlage 9 - Kostenaufstellung zur Ermittlung der m<sup>2</sup>-Preise für Stahlbetonbrücken am Beispiel L198, Lech, Zürsbachbrücke und Monzabonbachbrücke), wobei für jedes Stadium der Umsetzung andere Grundlagen angewendet werden. Als Erstermittlung für die Planungsentscheidung werden Erfahrungswerte, welche auf m<sup>2</sup>-Preise abgestimmt sind, angewendet und entsprechend den Standardvorgaben auf die Bauteile aufgeteilt. In weiterer Folge werden in der Planungsphase die notwendigen Massen ermittelt und den zu erwartenden Kosten zugeteilt, somit wird ein relativ hoher Genauigkeitsgrad der Massenermittlung erreicht.

Die Aufteilung der Bauteilkosten für bestehende Bauwerke erfolgt prozentuell auf Basis der Standardvorgaben. Der technisch aufwendigste Bauteil bildet dabei das Tragwerk. Es nimmt die Lasten des Eigengewichts und des Verkehrs auf und bildet den größten Kostenanteil. Bei

Spannweiten von 25 bis 40m beträgt der Kostenanteil ca. 50% mit einer Schwankungsbreite von 5% je nach Konstruktion. Dasselbe gilt für den Unterbau mit einem Kostenanteil von ca. 30% +/-5%<sup>78</sup> (Voraussetzung: keine Sondermaßnahmen bei der Gründung). Die Ausrüstungskosten werden entsprechend ihrer Benennung 30% und 70% aufgeteilt. Die anfallenden Kosten bewegen sich im Rahmen von ca. 20% der Gesamtkosten. Die Kosten der Ausrüstung unterliegen jedoch einer größeren Schwankungsbreite, besonders bei Einsatz von technischer Hilfsausrüstung wie z.B. Eiswarngeräte auf Brücken.

Für eine Berechnung der LZK, die als Grundlage für eine Variantenentscheidung des Brückentyps dienen, reichen eine Aufteilung der Bauteilmassen und deren zugehörigen Kosten auf Grundlage der Standardvorgaben aus. Voraussetzung für eine Variantenentscheidung mit Standardvorgaben ist jedoch die Beibehaltung der Standardvorgaben für alle berechneten Brückentypen, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Eine detaillierte Berechnung der LZK ist nur mit einer Massenberechnung, aufgeteilt auf die einzelnen Bauteile, möglich. Mit der Festlegung der Kosten durch eine Massenberechnung ist die Aufteilung der Kosten auf die einzelnen Bauteilgruppen sehr genau möglich. Mit einer detaillierten Massenberechnung wird der Schärfegrad der LZK-Berechnung verbessert, da sich Eingangsfehler über die Berechnungsdauer vervielfachen. Ein weiterer Vorteil für eine detaillierte Massenberechnung ist die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse und deren Einfluss bei konstruktiver Änderung, zudem können Anpassungen in der Berechnung leichter und schneller durchgeführt werden.

Der Grad der Detaillierung der Massenberechnung und der daraus folgenden LZK-Berechnung muss für den einzelnen Anlassfall (Grundlage für Variantenentscheidungen, Kostenberechnung für bestehende Objekte, etc.) selbst entschieden werden.

Grundsätzlich kann bereits von der Massenberechnung und deren Verteilung auf die Bauteilgruppen eine Tendenz der LZK ermittelt werden. Die LZK erhöhen sich, wenn sich die prozentuellen Anteile der Kostengruppen im Bauwerk von „unten“ nach „oben“ verschieben. D.h., je höher der Anteil der Ausrüstung einer Brücke wird, desto stärker wirken sich diese Kosten auf die gesamten Lebenszykluskosten aus, weil die Instandsetzungszyklen am kürzesten und die jährlichen Instandhaltungskosten am höchsten sind. Daher kann bereits bei der Massenberechnung festgestellt werden, wie sich die zukünftigen LZK einer Brücke verhalten werden.

### 7.3 VERÄNDERUNG - TECHNISCHE NUTZUNGSDAUER/JÄHRLICHE INSTANDHALTUNGSKOSTEN

Die technische Nutzungsdauer beschreibt einen sehr theoretischen Wert, oft wird dieser aufgrund laufender neuer Sicherheitsvorschriften in Technik und Verkehr nicht erreicht bzw. nur in den seltensten Fällen überschritten. Instandsetzungsmaßnahmen oder die Neuerrich-

---

<sup>78</sup> (Straninger, Wicke, & Kirsch, 2000) Kostenmodell für den Straßenerhalt von Straßenbrücken.

tung von Bauwerken werden daher oft zu einem früheren Zeitpunkt fällig. Die Umsetzung von Instandsetzungsmaßnahmen während der Nutzungsphase erfolgt immer an mehreren Bauteilen gemeinsam, um die Verkehrsbehinderungen so kurz wie möglich zu halten. Eine gleichzeitige Umsetzung von Instandsetzungsmaßnahmen ergibt daher zwangsläufig Verschiebungen in den Instandsetzungsintervallen.

In der Praxis werden die Sanierungen der Bauteile zu möglichst gleichen Zeitpunkten durchgeführt. Das bedeutet, dass sich Verkürzungen aber meist Verlängerungen der theoretischen Nutzungsdauern an den einzelnen Bauteilen des Bauwerkes ergeben. Die längeren Instandsetzungsintervalle bedeuten gleichzeitig einen Mehraufwand bei den Instandhaltungskosten, damit die Bauteile länger als in den Standardvorgaben angegeben genutzt werden können. Das bedeutet auch, dass die erforderlichen Kosten für die Instandsetzungen erst zu einem späteren Zeitpunkt verfügbar sein müssen, und das dafür erforderliche Kapital kann anderweitig eingesetzt werden.

Die Gleichschaltung von Instandsetzungen der Bauteilgruppen zieht für einzelne Bauteile je nach Umfang der in Zukunft zu erwartenden Instandsetzungsmaßnahmen eine Erhöhung der jährlichen Instandhaltungskosten für den betroffenen Bauteil nach sich. D.h. eine Verlängerung der Instandsetzungszyklen auf einen 30 Jahre – Rhythmus bei Stahlbetonbrücken erfordert eine Erhöhung der Instandhaltungskosten um ca.  $1/3^{79}$ , um eine verlängerte Nutzungsdauer des Bauteiles zu erreichen.

In nachfolgender Tabelle ist eine mögliche Zyklusbereinigung der theoretischen Nutzungsdauer anhand des Beispiels einer Stahlbetonbrücke dargestellt:

Gruppe	Bauteil	Errichtungs-kosten (siehe Beispiel-modell)	m theoretische Nutzungsdauer [Jahre]		p jährliche Instandhaltungskosten [%]	
			Standard	Zyklus- bereinigt	Standard	Zyklus- bereinigt
A	Unterbau	€ 189.000	110	90	0,5	0,5
B	Tragwerk	€ 315.000	70	90	0,8	1,2
C1	Ausrüstung 30%	€ 38.000	20	30	1,5	2,0
C2	Ausrüstung 70%	€ 88.000	30	30	1,2	1,2

Tabelle 7: Bestandeile der Brücke, Variation theoretische Nutzungsdauer und der Anteil der jährlichen Unterhaltskosten

<sup>79</sup> Erfahrungswerte der Abteilung Brückenerhaltung des Landes Vorarlberg.

Nach Durchrechnung der LZK (siehe Anlage 5-8) mit der Barwertmethode und der Endwertmethode mit Standardvorgaben und dem zyklusbereinigten Ablauf ergibt sich unter Berücksichtigung des Restwertes folgendes Ergebnis.

LZK Barwertmethode		LZK Endwertmethode	
Standard (siehe Anlage5)	Zyklusbereinigt (siehe Anlage6)	Standard (siehe Anlage7)	Zyklusbereinigt (siehe Anlage8)
€ 965.000	€ 940.000	€ 19.436.000	€ 17.552.000
RW € 76.000	RW € 53.000	RW € 366.000	RW € 160.000

Tabelle 8: Ergebnistabelle, Berechnung - LZK nach Standardvorgaben oder Zyklusbereinigt

Aus der Berechnung wird ersichtlich, dass sich die Kosten bei Anwendung der Barwertmethode nur geringfügig ändern. Im Gegensatz dazu ergibt sich bei der Berechnung mit der Endwertmethode ein Vorteil zugunsten der zyklusbereinigten Variante. Zu beachten ist dabei, dass bei der zyklusbereinigten Variante die theoretische Nutzungsdauer nicht erreicht wird.

Nachfolgend eine Gegenüberstellung der beiden Varianten bei der veränderten Anwendung der Einflussparameter „technische Nutzungsdauer und jährliche Instandhaltungskosten:

Zyklusbereinigt	Standard gem. Literatur <sup>80</sup>
weniger Instandsetzungszyklen <ul style="list-style-type: none"> <li>zwei Instandsetzungszyklen an der gesamten Ausrüstung über die Nutzungsdauer</li> </ul>	mehrere „unregelmäßige“ Instandsetzungszyklen <ul style="list-style-type: none"> <li>1 x IS am Tragwerk</li> <li>3 x IS an der Ausrüstung 30%</li> <li>2 x IS an der Ausrüstung 70%</li> </ul>
Kostenintensive Instandhaltungen <ul style="list-style-type: none"> <li>setzt detaillierte Bauwerksprüfungen voraus und erfordert umfangreichere Sanierungsmaßnahmen</li> <li>vorausschauende Schadensbewertung und Schadensbehebung</li> </ul>	Standard Instandhaltungen <ul style="list-style-type: none"> <li>Ergebnisse der Bauwerksprüfungen müssen umgesetzt werden</li> </ul>

Fortführung der Tabelle auf der nächsten Seite

<sup>80</sup> (ÖBB, 2006), Richtlinie zur Berechnung der Erhaltungskosten und Ablösungsbeträge von Ingenieurbauwerken, Straßen und Wegen; siehe Beilage 1, Zusammenstellung der theoretischen Nutzungsdauern und der Prozentsätze der jährlichen Unterhaltungskosten.

Zyklusbereinigt	Standard gem. Literatur <sup>81</sup>
<p>geringerer Restwert</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>besseres Kosten/Nutzen Verhältnis, die einzelnen Bauteile besitzen am Ende der Nutzungsdauer einen niedrigeren Restwert</li> <li>Generalsanierung/Neuerrichtung müssen geplant werden und können nicht mehr aufgeschoben werden</li> </ul>	<p>höherer Restwert</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Generalsanierung/Neuerrichtung ist nicht zwingend erforderlich</li> <li>weitere Sanierungsmaßnahmen an Bauteilen können auf Wirtschaftlichkeit geprüft werden und neue Maßnahmen geplant werden</li> </ul>
<p>geringerer Kosteneinsatz</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>budgetschonender</li> <li>Risiko der sofortigen Schadensbehebung steigt</li> <li>Schadensrisiko steigt nach überschreiten der Standardnutzungszeit</li> </ul>	<p>höherer Kosteneinsatz</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>laufende Berücksichtigung im Budget</li> <li>geringeres Schadensrisiko</li> </ul>

Tabelle 9: Gegenüberstellung - LZK nach Standardvorgaben oder Zyklusbereinigt.

Eine Zyklusbereinigung der Instandsetzungsintervalle ist grundsätzlich als sinnvoll zu erachten, wenn die Planung, Koordination, Umsetzung und Überwachung der Instandsetzungsmaßnahmen gleichzeitig erfolgen können. Voraussetzung damit eine Zyklusbereinigung umgesetzt werden kann ist bereits die vorausschauende Planung, in der qualitative Schwachstellen (Beispiel: zu geringe Betondeckung, etc.) vermieden werden, und dass bei der Herstellung des Bauwerkes auf die eingesetzten Materialien und deren Qualität geachtet wird. Die Instandsetzungen sind mit besonderer Sorgfalt durch fachkundiges Personal umzusetzen, damit die erforderliche Qualität zur Verlängerung der Zyklusbereinigung erreicht wird.

<sup>81</sup> (ÖBB, 2006), Richtlinie zur Berechnung der Erhaltungskosten und Ablösungsbeträge von Ingenieurbauwerken, Straßen und Wegen; siehe Beilage 1, Zusammenstellung der theoretischen Nutzungsdauer und der Prozentsätze der jährlichen Unterhaltungskosten.

### 8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Aufbauend auf den theoretischen Grundlagen der Berechnung von LZK sowie der einschlägigen Literatur kann festgestellt werden wie wichtig die Ermittlung von LZK von Brückenbauwerken ist. Im öffentlichen Bereich werden jedoch selten entsprechende Berechnungen durchgeführt, obwohl diese als effektives Steuerelement vor allem beim Neubau von Brücken oder deren Variantensuche bei der Gesamtkostenermittlung über die theoretische Nutzungsdauer von besonderer Bedeutung wären.

Es wurde festgestellt, dass die Literatur sehr aufwändige Berechnungsmodelle vorweist, die in der Anwendung einiges an Wissen über die Funktionsabläufe erfordern. Durch die umfangreichen Programme und deren Möglichkeiten werden die Modelle kaum eingesetzt, und haben daher ihre Zielsetzung der Berechnung von LZK verfehlt. Diesem Defizit, der zu geringen Berücksichtigung der LZK bei Brückenbauwerken, ist entgegenzuwirken.

Die Berechnung der Lebenszykluskosten soll dabei nur ein Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung bei der Zielerreichung eines Brückenprojektes sein. Oft sind Projekte von technischen und wirtschaftlichen Zielen abgekoppelt und werden von politischen Zielen beeinflusst. Mit einer raschen Ermittlung der LZK kann dieses Instrument zu einer zusätzlichen Entscheidungshilfe führen und bei „Fehlentscheidungen“ kann mit sachlichen und wirtschaftlichen Argumenten gegengesteuert werden, bzw. voraussichtlich geplant werden.

Die verpflichtende Berechnung der LZK bei Neubauten oder anstehenden Instandsetzungsmaßnahmen kann daher nur von Nutzen sein. Sie zeigt das Bauwerk aus betriebswirtschaftlicher Sicht über einen Lebenszyklus, dient zur Entscheidungsfindung des Brückentyps und dient der Entscheidungshilfe der zuständigen Führungseinheit (Abteilungsleiter, Fachbereichsleiter etc.).

Die gegenständliche Diplomarbeit beschreibt die Berechnung der LZK anhand der Barwert- und der Endwertmethode und stellt diese in einem Berechnungsbeispiel ausführlich dar. Dabei konnte der Verfasser aufzeigen, dass diese Methoden mit sehr wenigen Eingabeparametern Aussagen über die mögliche Kostenentwicklung einer Brücke treffen kann. Mit der Programmierung eines Excel-Sheet können auf einer Seite alle Eingabeparameter und Ergebnisse dargestellt werden. Dadurch ist eine schnelle, wirtschaftliche und effiziente Berechnung der LZK erreicht. Die einfache Gestaltung ermöglicht eine rasche Reaktion und Neuberechnung und stellt sofort die neue Entwicklung der LZK dar.

Anhand der Rechenbeispiele und der Erfahrung des Verfassers kann nachgewiesen werden, dass Zyklusänderungen der Bauteilgruppen trotz höherer Instandhaltungsmaßnahmen zu Synergien bei Instandsetzungen führen und dadurch keine Mehrkosten entstehen. Werden diese Erfahrungen bereits bei der Planung berücksichtigt, so können Zyklusanpassungen zu Verbesserungen in der Abwicklung von Instandsetzungsmaßnahmen führen.

Der Einsatz der Lebenszyklusberechnung ist aus Sicht des Verfassers von sehr großer Bedeutung, da die Budgetmittel immer knapper werden und effizienter eingesetzt werden müssen. Die Berechnung der Lebenszykluskosten ermöglicht den gezielten Einsatz der Budgetmittel, sofern diese auf technischen und wirtschaftlichen Grundlagen ermittelt wurden und nicht politisch motiviert gesteuert werden.

Die Einführung und der Erfolg einer Berechnung der Lebenszykluskosten hängt aus Sicht des Verfassers in großem Maße ab, von der

- Einführung der Berechnung der LZK als Steuerelement für die Entscheidungsfindung bei Neuerrichtungen sowie weiterer Instandsetzungsmaßnahmen;
- Akzeptanz der Führungskräfte und der Sachbearbeiter einer Lebenszyklusberechnung;
- ständige Weiterentwicklung und Verbesserung der Datengrundlagen für die Lebenszyklusberechnung;

Aus Sicht des Verfassers können durch die Einführung der Lebenszyklusberechnungen für Brückenbauwerke die Aufgaben der Sparsamkeit, der Wirtschaftlichkeit und der Zweckmäßigkeit für das Land Vorarlberg erfüllt und bestmöglich abgewickelt werden.



## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich,

dass ich meine Diplomarbeit unter Anleitung von Prof. Dr. rer. pol. Andreas Hollidt (Hochschule Mittweida) als Erstprüfer und Dipl.Ing. Armin Wachter (Land Vorarlberg, Abt. VIIb - Straßenbau) als Zweitprüfer selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe und keine anderen als die in der Abhandlung angeführten Hilfen benutzt habe,

dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe.

Weiters erkläre ich, dass ich diese Arbeit noch keiner anderen Prüfungsbehörde in gleicher oder ähnlicher Form vorgelegt habe.

Ich versichere, dass die von mir eingereichte schriftliche Version mit der digitalen Version der Arbeit übereinstimmt.

Stallehr, am 14. Juli 2009

Ing. Markus Luger

## LITERATURVERZEICHNIS

### BÜCHER/FACHSCHRIFTEN

- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| <u>Bergmeister, Wörner</u>    | <i>Betonkalender Teil 1, Brücken – Parkhäuser</i><br>Berlin: Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co.KG. (2004)   |
| <u>Fritsch, Hellmann</u>      | <i>Brückenbau</i><br>Wien: Manz Verlag (1997)  |
| <u>Holst</u>                  | <i>Brücken aus Stahlbeton und Spannbeton (Entwurf, Konstruktion und Berechnung)</i><br>Berlin: Ernst & Sohn Verlag 1998, 4. Auflage  |
| <u>Jodl, Jurecka, Schranz</u> | <i>Programmentwicklung Lebenszykluskosten von Brücken (LZKB)</i><br>Teil 1 - Anforderungen. Wien: E234 - Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement (2008)   |
| <u>Jodl, Jurecka, Schranz</u> | <i>Programmentwicklung Lebenszykluskosten von Brücken (LZKB)</i><br>Teil 2 - Handbuch. Wien: E234 - Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement (2008)  |
| <u>Krauss</u>                 | <i>Instandsetzung oder Erneuerung, Hinweise zur „Richtlinie zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahmen bei Straßenbrücken“ – Teil 1</i><br>Straße + Autobahn (10 2004) |
| <u>Menn</u>                   | <i>Stahlbetonbrücken</i><br>Wien: Springer-Verlag (1986)   |
| <u>Oberndorfer</u>            | <i>Organisation &amp; Kostencontrolling von Bauprojekten</i><br>Schriftenreihe Baubetrieb und Bauwirtschaft Band 4<br>Wien: Manz'sche Verlags- und Universitätsbuchhandlung GMBH (2007)  |

- Olfert, Oeldorf      *Materialwirtschaft, Kompendium der praktischen Betriebswirtschaft (11. Ausgabe)*  
Ludwigshafen (Rhein) 1987: Friedrich Kiel Verlag GmbH (2004)
- Peters, Brühl, Stelling      *Betriebswirtschaftslehre, Einführung. München: Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH (2005).*
- Petschacher      *Stochastisches Alterungsmodell für Infrastrukturbauten (Untersuchung des Brückenbestandes im hochrangigen Straßennetz)*  
Heft 570. Wien: Republik Österreich, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie - Straßenforschung (2007)
- Rainer      *Life-Cycle Management - LCM (Ganzheitlicher Managementansatz in der Baubranche)*  
Netzwerk Bau (Nr. 09-008),(2008)
- Schach, Otto, Häupl, Fritsche      *Lebenszykluskosten von Brückenbauwerken*  
Bauingenieur , 81 (August 2006)
- Snizek, Koch, Prem      *Entscheidungshilfen (Nutzen-Kosten-Untersuchungen in der Bundesstraßenplanung) - Handbuch*  
Heft 514. Wien: Republik Österreich, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie - Straßenforschung (2001)
- Stelling      *Kostenmanagement und Controlling*  
München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag (2005)
- Straninger, Wicke, Kirsch      *Kostenmodell für den Straßenerhalt von Straßenbrücken*  
Innsbruck/Linz (2000)
- Wicke, Straninger, Stehno, Bergmeister      *Verfahren zur Vorhersage des Umfanges von Brückensanierungen*  
Heft 338. Wien: Republik Österreich, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Bundesstraßenverwaltung (1987)

NORMEN, RICHTLINIEN

<u>DB Richtlinie</u>	<i>Richtlinie für die Berechnung der Ablösungsbeträge der Erhaltungskosten für Brücken und sonstige Ingenieurbauwerke</i> Deutsche Bundesbahn (1999)
<u>DIN 31051:2003-06</u>	<i>Grundlagen der Instandhaltung</i> Berlin (Deutschland, Bundesrepublik) Beuth Verlag GmbH (2003)(Bundesbahn, 1999)
<u>LB-Verkehrsinfrastruktur</u>	<i>Standardisierte Leistungsbeschreibung – Leistungsbuch für Verkehrsinfrastruktur VI 01 200810</i> Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr. Wien (Oktober 2008)
<u>ÖBB Richtlinie</u>	<i>Richtlinie zur Berechnung der Erhaltungskosten und Ablösungsbeträge von Ingenieurbauwerken, Straßen und Wegen.</i> Wien: ÖBB-Infrastruktur Bau AG (2006)
<u>ÖNORM B 4202 Teil 75</u>	<i>Massivbau, Straßenbrücken</i> Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON)
<u>ÖNORM B 1801 Teil 1</u>	<i>Kosten im Hoch- und Tiefbau – Kostengliederung</i> Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON) (1995)
<u>ÖNORM B 1801 Teil 2</u>	<i>Kosten im Hoch- und Tiefbau - Objektdaten - Objektnutzung</i> Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON) (1997)
<u>ÖNORM B 4200 Teil 10</u>	<i>Beton - Herstellung, Verwendung und Gütenachweis</i> Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON) (1996)
<u>RI-ERH-ING</u>	<i>Richtlinie für die Erhaltung von Ingenieurbauten-/Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076.</i> Bundesministerium für Verkehr, B. u. Stadtentwicklung (2007)
<u>RI-WI-BRÜ</u>	<i>Richtlinie zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahmen bei Straßenbrücken.</i> Bundesministerium für Verkehr, B. u. Stadtentwicklung (2004)

RVS 12.01.12

*Standards in der betrieblichen Erhaltung von Landesstraßen*  
Straßenwesen, Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-  
Verkehr. Wien (1. Juni 2008)

RVS 13.03.11

*Straßenerhaltung - Überwachung, Kontrolle und Prüfung –  
Straßenbrücken*  
Straßenwesen, Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-  
Verkehr. Wien (1995)

STUDIEN, VORTRÄGE, BERICHTE

Gruber, Lienhart, Oesterreicher, Schatzmann

*Lebenszyklusanalyse von Tunnel- und Brückenbauwerken in Österreich*

Graz 2008: Institut für Baubetrieb, Bauwirtschaft, Projektentwicklung und Projektmanagement

Jodl, Jurecka

*Lebenskosten - Modell Brücke.*

Brückentagung 2007 Wien: Technische Universität Wien(2007).

Ludescher

*Objektdokumentation – Zustandsbericht 2007.*

Objektmanagement Bauwerke 2007 Feldkirch

Schäffer, Zeilinger

*Der Lebenszyklus von Verkehrsbauwerken in der Betriebswirtschaftlichen Darstellung*

Land Oberösterreich und KPMG Corporate Finance 2004

Stempkowski

*Life Cycle Management – LCM Ganzheitlicher Managementansatz für die Baubranche*

Graz 2008: Netzwerk Bau Nr. 09-008, Rainer Stempkowski

QUELLEN AUS DEM INTERNET

Amt der Tiroler Landesregierung, Aschaber. (1991)

*Messtechnische Überwachung der Setzungsbewegung des  
Flußpfeilers der Inntal-Autobahnbrücke bei Kufstein*

[http://www.hbm.com/fileadmin/mediapool/ram/MTB-1991-1-  
Seite1-7.pdf](http://www.hbm.com/fileadmin/mediapool/ram/MTB-1991-1-Seite1-7.pdf)

[Abgerufen am 19. Februar 2009]

MA29 - Brückenbau und Grundbau; arsenal research.

*Geschichte der Reichsbrücke*

<http://www.reichsbruecke.net/geschichte.php>

[Abgerufen am 19. Februar 2009]

Statistik Austria

Baukostenindex für Straßenbau

[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/preise/baukostenindex/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/preise/baukostenindex/index.html)

[Abgerufen am 01. Mai 2009]

## ANLAGEN

### ANLAGE 1 – SCHADENSKLASSEN FÜR DAS GESAMTE BRÜCKENOBJEKT

STANDARDKLASSEN	
Klasse	Beschreibung
<b>1</b>	<b>keine Schäden</b> oder so <b>geringe Schäden</b> , dass keine Instandsetzungsarbeiten erforderlich sind. Mängel, die seit der Bauzeit vorhanden sind, geometrische Ungleichförmigkeiten, ästhetische Mängel. (Beispiel: Abweichungen der Abmessungen, Farbunterschiede)
<b>2</b>	<b>geringe Schäden</b> , die keine Nutzungseinschränkung erfordern und die bei Nichtbeheben erst auf einen längeren Zeitraum eine Verminderung der Gebrauchstauglichkeit oder Dauerhaftigkeit bedeuten. Die Behebung kann mit geringem Aufwand durch den eigenen bzw. zuständigen Erhaltungsdienst durchgeführt werden. (Beispiel: Risse im Querträger und im Kasten, Betoniermängel und geringe Betondeckung im Inneren von Kastentragwerken)
<b>3</b>	<b>mittelschwere Schäden</b> , die keine Nutzungsbeschränkungen erfordern und deren Instandsetzung auf kürzeren Zeitraum (nächste Brückenprüfung) erfolgen sollten, da eine Verringerung der Gebrauchstauglichkeit oder Dauerhaftigkeit des Objektes erkennbar ist. (Beispiel: Risse, Betoniermängel, zu geringe Überdeckung der Bewehrung, Stellen an denen Wasser Zutritt, stärkere Isolierungsschäden)
<b>4</b>	<b>schwere Schäden</b> , die noch keine Nutzungsbeschränkung erfordern, die aber eine sofortige Instandsetzung benötigen, um die Gebrauchstauglichkeit zu erhalten. Durch Instandsetzung, die in einem Zeitraum von bis zu drei Jahren durchgeführt wird, kann die normale Nutzung wieder hergestellt werden. (Beispiel: Injektionsmangel einzelner Kabel soweit keine Feuchtigkeit dazukommt, Lagerschäden wie Rost, falsche Stellungen der Lager, Korrosionsschäden in Haupttragelementen, offene Koppelfugen bei genügender schlaffer Bewehrung)
<b>5</b>	<b>sehr schwere Schäden</b> Aufgrund der Schadenserscheinung ist eine sofortige Instandsetzung einzuleiten. Bis zum Abschluss der Arbeiten kann eine Nutzungseinschränkung oder eine provisorische Unterstellung oder Absturzsicherung des Objektes erforderlich werden. Durch die unverzüglich eingeleitete und durchgeführte Instandsetzung kann dem Bauwerk die geplante Nutzungsmöglichkeit (Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit) wiedergegeben werden. (Beispiel: wasserführende Spannstränge, starke Korrosion der Spannbewehrung und Schlaffbewehrung in den Haupttraggliedern, Lagerbruch, offene Koppelfugen oder Risse)
SONDERKLASSE	
<b>6</b>	<b>Totalschaden, sehr schwere Schäden</b> Das Schadensbild erfordert eine sofortige Unterstellung des Objektes oder eine wesentliche Nutzungsbeschränkung bzw. eine völlige Verkehrssperre. Trotz einer umfangreicheren Instandsetzung kann die ursprüngliche Nutzung und Dauerhaftigkeit nicht wieder erreicht werden, oder der Aufwand dazu ist wirtschaftlich nicht vertretbar. In diese Klasse fallen auch Bauwerke, deren vorhandene Tragfähigkeit den geänderten Erfordernissen oder Belastungen nicht mehr entspricht und auch trotz Verstärkungsmaßnahmen nicht mehr entsprechen können. Wird durch eine Änderung der Anforderungen (Belastbarkeit, Trassenänderungen) oder aufgrund der hohen Instandsetzungs- und Verstärkungskosten ein Neubau vorgezogen, so sind doch noch Instandsetzungsarbeiten erforderlich, um das Tragwerk bis zur Verkehrsübergabe des neuen Bauwerkes unter einer interimistischen und reduzierten Nutzung halten zu können.



---

ANLAGE 2 – BESONDERE ANWEISUNGEN FÜR ÜBERWACHUNG, KONTROLLE UND PRÜFUNG VON BAUTEILEN <sup>82</sup>

Je nach Aufgabe (Überwachung, Kontrolle, Prüfung) erfolgen die Arbeiten in unterschiedlicher Bearbeitungstiefe.

(keine vollständige Auflistung)

**Vorarbeiten am Objekt**

- Reinigung der einzelnen Bauteile
- Vorbereitung von Einstiegen und Öffnungen
- ausreichende Beleuchtung
- Messprogramme einrichten und vorbereiten

**Unterbau**

- Lagemäßige Veränderung der Pfeiler, Widerlager und Flügel  
*(Zu prüfen sind: Setzungen; Verschiebungen; Verdrehungen und Verdrückungen; Bewertung der Standsicherheit im Zusammenhang der Beweglichkeit der Lager und Fahrbahnübergänge [Zwängungen])*
- Gerinnesicherung, Kolke und Anlandungen  
*(Zu prüfen sind: bei kolkgefährdeten Brücken die Gerinnesohle im Bereich der Fundamente von Widerlager und Pfeiler und Vergleich mit den planmäßigen Werten; der Zustand der Sohl- und Böschungssicherung; Fugen bei Pflasterungen und störender Bewuchs)*
- Wasseraustritte  
*(Zu prüfen sind: stärkere Wasseraustritte im Bereich des Unterbaues; Inhalt von Feststoffen und die chemische Verunreinigung im Wasser)*
- Rutschungen  
*(Zu prüfen sind: Anzeichen von Rutschungen im Nahbereich des Bauwerkes wie Anrisse, Aufwölbungen)*

---

<sup>82</sup> (Straßenwesen, Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, RVS 13.03.11 Straßenerhaltung - Überwachung, Kontrolle und Prüfung - Straßenbrücken, 1995) vgl. Pkt. 3. laufende Überwachung, Pkt. 4. Kontrolle, Pkt. 5. Prüfung.

- Holz- oder Stahljoche, Holzpfähle  
*(Zu prüfen sind: Übergang in den Wasserbereich oder Geländeoberfläche auf Fäulnis, Korrosion und den Korrosionsschutz)*
- Betonverhalten bei Widerlager, Flügel, Pfeiler und Auflagerbänke  
*(Zu prüfen sind: Ausblühungen; Aussinterungen; Rostfahnen; Feuchtstellen; Abwitterungen; Abplatzungen; Risse; Zustand der Fugen und Verschmutzungen; Schäden durch Geschiebetrieb im Wasser; Risse in den Auflagerbereichen; Funktion der Widerlagerentwässerung)*

### Überbau (Tragwerk)

- Holztragwerke  
*(Zu prüfen sind: Abnützung; Verdrückungen; Fäulniserscheinungen; Schädlingsbefall; Klaffen von Fugen; Holzschutz; Schrauben und Verbindungen auf festen Sitz)*
- Beton-, Stahlbeton- und Spannbetontragwerke  
*(Zu prüfen sind: Risse und deren Einfluss auf das Tragwerk; Fehlstellen, Hohlräume und Abplatzungen mit leichtem abklopfen; Korrosion und freiliegende Bewehrung; Aussinterungen, Rostfahnen und Feuchtstellen; Spannlieder und deren typische Schäden)*
- Stahltragwerke  
*(Zu prüfen sind: Korrosion und Korrosionsschutz mit stichprobenartiger Schichtdickenmessung; Nieten und Schrauben auf Risse, Beschichtung, Festigkeit; Schweißnähte auf Risse mit der Lupe; Konstruktionsteile auf Verbiegungen)*
- Verbundtragwerke  
*(Prüfungen haben wie bei Beton-, Stahlbeton-, Spannbeton- und Stahltragwerken zu erfolgen, zu prüfen ist der Verbund unter den Werkstoffen)*
- Gewölbe  
*(Zu prüfen sind: Veränderungen an der Oberfläche, Risse, Feuchtstellen, Abwitterungen, Abplatzungen, fehlende Steine, Verdrückungen)*

## Brückenausrüstung

- Lager, Gelenke Fahrbahnübergänge  
*(Zu prüfen sind: Bewegungsfähigkeit der Lager und Fahrbahnübergänge gegenüber dem Sollzustand; Zustand der Lagerkörper; Hohlstellen im Bereich der Lagerplatten; Verformungslager auf Verschiebungen, Risse und Korrosion; Rollenlager, Kipplager, Gelenke auf ihre Ausrichtung und Beweglichkeit; Gleitlager mit Polytetrafluoräthylen (PTFE)-Gleitschicht auf Schichtdicke; Topflager auf die Winkeldrehungen; Fahrbahnübergänge auf außergewöhnliche Druckstellen am Lager, Funktionsfähigkeit von Dichtprofilen, mechanische Beschädigungen, Schäden an der Fahrbahndecke, Ausbrüche, Höhenunterschiede an Bauteilen, Anschlussfugen, Korrosion, Lärmentwicklung bei Fahrbahnübergängen)*
- Fahrbahndecken und Gehwegbeläge  
*(Zu prüfen sind: Belagsschäden an der Oberfläche wie Verdrückungen, Risse, Spurrinnen, Hohlstellen, Ausmagerungen, außergewöhnlicher Verschleiß, Schäden an Fugen)*
- Abdichtung und Entwässerung  
*(Zu prüfen sind: Feuchtstellen, Umläufigkeiten, charakteristische Belagsschäden, Abläufe, Rohrleitungen, Schächte, Drainagen, Sickergruben, Vorfluter, Sauberkeit, Befestigung, funktionstüchtige Wasserabführung, verkehrssicherer Zustand)*
- Randbalken  
*(Zu prüfen sind: Gesimse, Leitwände, Brüstungen aus Beton oder Stahl auf Frost- und Tausalzschäden, Fehlstellen wie Risse, lockere Randsteine und undichte Fugen)*
- sonstige Ausrüstung  
*(Zu prüfen sind: Geländer, Leitschienen, Beleuchtungsmasten, Lärmschutzeinrichtungen, Schnee- und Spritzschutz, das Vorhandensein von objektbezogenen Verkehrszeichen; Befestigungen der am Objekt angebrachten Leitungen sowie Prüfung auf deren Dichtheit)*
- Besichtigungseinrichtungen  
*(Zu prüfen sind: ortsfeste Leitern, Treppen, Stege und Inspektionswagen)*

ANLAGE 3 – AUFGABENTEILUNG UND HÄUFIGKEITEN <sup>83</sup>

**Laufende Überwachung**

Mängel, Schäden oder auffällige Veränderungen, die bei der laufenden Überwachung festgestellt werden, sind im Streckenwart-Dienstprotokoll zu vermerken.

laufende Überwachung	Zuständigkeit	Termin	Durchführung
Stützmauern $H \leq 1,5\text{m}$ Durchlässe und Lärmschutzwände	Straßenmeisterei (STM)	laufend bzw. mindestens alle 4 Monate	Streckenwartdienst
Stützmauern $H > 1,5\text{m}$			
Brücken u. Galerien senkrechte Lichtweite bis 10,0m			
Brücken u. Galerien senkrechte Lichtweite > 10,0 bis 20,0m			
Brücken u. Galerien senkrechte Lichtweite > 20,0m			
Wegweiserbrücken			
Ankerwände		laufend bzw. mind. 1x jährlich	

Tabelle 10: Aufgabenteilung und Häufigkeit, laufende Überwachung

<sup>83</sup> (Straßenwesen, Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, RVS 12.01.12 Standards in der betrieblichen Erhaltung von Landesstraßen, 1. Juni 2008) siehe Kap. 4. Brücken und Mauern.

## Kontrolle

Das Ergebnis der Kontrolle ist im Kontrollblatt festzuhalten. Erforderliche Maßnahmen, die sich aus der Kontrolle des Objekts ergeben, sind dann im Maßnahmenkatalog festzuhalten, wenn die Dringlichkeit gemäß Maßnahmenkatalog mit Stufe 4 „Instandsetzung einleiten“ bewertet wird.

Kontrolle	Zuständigkeit	Termin	Durchführung
Stützmauern $H \leq 1,5\text{m}$ Durchlässe und Lärmschutzwände	Straßen- und Brückenmeister	nach Bedarf	Sachkundiger Ingenieur oder geschultes Fachpersonal
Stützmauern $H > 1,5\text{m}$		mindestens alle 2 Jahre	
Brücken u. Galerien senkrechte Lichtweite bis 10,0m			
Brücken u. Galerien senkrechte Lichtweite > 10,0 bis 20,0m			
Brücken u. Galerien senkrechte Lichtweite > 20,0m			
Wegweiserbrücken			
Ankerwände		mindestens alle 3 Jahre	

Tabelle 11: Aufgabenteilung und Häufigkeit, Kontrolle

## Prüfung

Das Ergebnis der Kontrolle ist im Prüfblatt festzuhalten. Erforderliche Maßnahmen, die sich aus der Prüfung des Objekts ergeben, sind unabhängig von der Dringlichkeit des Maßnahmenkataloges festzuhalten.

Prüfung	Zuständigkeit	Termin	Durchführung
Stützmauern $H \leq 1,5\text{m}$ Durchlässe und Lärmschutzwände	keine		
Stützmauern $H > 1,5\text{m}$	Fachabteilung	nach Bedarf	geschultes Fachpersonal Sachkundiger Ingenieur intern/extern
Brücken u. Galerien senkrechte Lichtweite bis 10,0m		alle 6 bzw. 10 Jahre	
Brücken u. Galerien senkrechte Lichtweite > 10,0 bis 20,0m		alle 6 bzw. 10 Jahre	
Brücken u. Galerien senkrechte Lichtweite > 20,0m		alle 6 Jahre	
Wegweiserbrücken		alle 6 Jahre	
Ankerwände		alle 10 Jahre	

**Tabelle 12: Aufgabenteilung und Häufigkeit, Prüfung**

#### ANLAGE 4 – THEORETISCHE NUTZUNGSDAUER/JÄHRLICHE INSTANDHALTUNG

Auszug aus der Zusammenstellung der theoretischen Nutzungsdauer und der Prozentsätze der jährlichen Unterhaltungskosten<sup>84, 85</sup>.

m... theoretische Nutzungsdauer [Jahre]

p... jährliche Unterhaltungskosten [Prozentsatz]

Gliederung der Begriffe Bauliche Anlagen	Richtline	
	m	p

<b>Bauliche Anlagen</b>		
<b>Unterbau</b> (Widerlager, Flügelwände, Pfeiler, Stützen, Pylone (jeweils inkl. Gründung))		
aus Mauerwerk, Beton Stahlbeton	110	0,5
aus Pfahlwänden, Schlitzwänden	90	0,5
aus Stahlspundwänden		
- aus Stahlspundwänden ohne Korrosionsschutz	50	0,6
- aus Stahlspundwänden mit Korrosionsschutz	70	0,5
aus Stahl	100	0,8
aus Holz	50	2,0

<b>Tragwerk: Tragkonstruktionen</b> (Balken, Platten, Bögen, Kastenquerschnitte)		
aus Stahlbeton	70	0,8
aus Spannbeton		
- aus Spannbeton mit internen Spanngliedern	70	1,3
- aus Spannbeton mit externen Spanngliedern	70	1,1
aus Stahl	100	1,2

<sup>84</sup> (Jodl, Jurecka, Schranz, & D., 2008) siehe Pkt. 2.4.2, theoretische Nutzungsdauer der Prozentsätze der jährlichen Unterhaltungskosten.

<sup>85</sup> (ÖBB, 2006), Auszug 5. Beilage zu Teil A „Theoretische Nutzungsdauer und Prozentsätze der jährlichen Unterhaltungskosten“.

<b>Tragwerk: Tragkonstruktionen</b> (Balken, Platten, Bögen, Kastenquerschnitte)		
aus Stahl-Beton-Verbundkonstruktionen		
- Stahltragwerke mit Betonplatte	70	1,2
- Walzträger in Beton	100	0,8
- Stahlträger in Beton mit Doppelverband (z.B. Preflexträger)	100	0,5
aus Holz		
- für Geh- und Radwege ohne Schutzdach	40	2,5
- für Geh- und Radwege mit Schutzdach	50	2,0
- für Straßen	40	2,5

<b>Rahmenartige Tragwerke (einschl. Gründung)</b> (geschlossene Rahmen, unten offene Rahmen, vergleichbare Rahmenkonstruktionen)		
aus Stahlbeton	70	0,8
aus Spannbeton	70	1,2
aus Stahl	100	1,5

<b>Gewölbe (einschl. Gründung)</b>		
Mauerwerk, Beton	130	0,6
Stahlbeton	110	0,5

<b>Wellstahlrohre einschließlich Flügelwände und Gründungen</b>	70	0,8
---	----	-----

<b>Ausrüstung</b>		
Ausrüstung C1: umfasst 30% der gesamten Ausrüstungskosten	20	1,5
Ausrüstung C2: umfasst 70% der gesamten Ausrüstungskosten	30	1,2

**Tabelle 13: theoretische Nutzungsdauer und Prozentsätze der jährlichen Unterhaltungskosten (Liste unvollständig)**



ANLAGE 5 – BERECHNUNG 1: VARIATION ND/JÄHR. INST.KOST - BW

## Berechnung der Bauwerkskosten nach der Barwertmethode

Datum der Berechnung 2009 Jahre  
 Betrachtungszeitraum 90 Jahre  
 Kalkulationszinssatz 3%

Brückentyp auswählen Kosten/m<sup>2</sup> (Netto)  
**Stahlbetonbrücke** € 1.700,00

Ausmaße der Brücke inklusive Randleiste

Länge 35,00 m  
 Breite 10,00 m  
 Fläche 350,00 m<sup>2</sup>

	Vorgabe	Wahl		
zu erwartende Errichtungskosten			€	600.000,00
Planungskosten	5%	5%	€	30.000,00
<b>zu erwartende Gesamterrichtungskosten (netto)</b>			<b>€</b>	<b>630.000,00</b>

Kostenanteile				Anteil Unterhaltskosten
Instandhaltung/Instandsetzung		Vorgabe	Wahl	/Jahr
Unterbau	A	30%	30%	0,5%
Tragwerk	B	50%	50%	0,8%
Ausrüstung 30%	C1	6%	6%	1,5%
Ausrüstung 70%	C2	14%	14%	1,2%
			Werte OK	

Kostenanteile			
Abbruchkosten		Vorgabe	Wahl
Gesamtbauwerk	D	20%	20%

Ergebnisse im Betrachtungsjahr (unverzinst)		2009	2099	Faktor
Abbruch vor Neubau		€ 120.000,00		
Unterbau		€ 189.000,00	€ 274.000,00	1,45
Tragwerk		€ 315.000,00	€ 920.000,00	2,92
Ausrüstung 30%		€ 38.000,00	€ 272.000,00	7,16
Ausrüstung 70%		€ 88.000,00	€ 500.000,00	5,68
<b>Lebenszykluskosten (unverzinst)</b>		<b>€ 750.000,00</b>	<b>€ 1.966.000,00</b>	<b>2,62</b>

Ergebnisse im Betrachtungsjahr (verzinst)		2009	2099	Faktor
Abbruch vor Neubau		€ 120.000,00		
Unterbau		€ 189.000,00	€ 221.000,00	1,17
Tragwerk		€ 315.000,00	€ 445.000,00	1,41
Ausrüstung 30%		€ 38.000,00	€ 109.000,00	2,87
Ausrüstung 70%		€ 88.000,00	€ 190.000,00	2,16
<b>Lebenszykluskosten (verzinst)</b>		<b>€ 750.000,00</b>	<b>€ 965.000,00</b>	<b>1,29</b>
<b>Restwert</b>		<b>€ 630.000,00</b>	<b>€ 76.000,00</b>	

ANLAGE 6 – BERECHNUNG 2: VARIATION ND/JÄHR. INST.KOST - BW

## Berechnung der Bauwerkskosten nach der Barwertmethode

Datum der Berechnung 2009 Jahre  
Betrachtungszeitraum 90 Jahre  
Kalkulationszinssatz 3%

Brückentyp auswählen Kosten/m<sup>2</sup> (Netto)  
**Stahlbetonbrücke** € 1.700,00

Ausmaße der Brücke inklusive Randleiste

Länge 35,00 m  
Breite 10,00 m  
Fläche 350,00 m<sup>2</sup>

	Vorgabe	Wahl		
zu erwartende Errichtungskosten			€	600.000,00
Planungskosten	5%	5%	€	30.000,00
<b>zu erwartende Gesamterrichtungskosten (netto)</b>			<b>€</b>	<b>630.000,00</b>

Kostenanteile		Vorgabe	Wahl	Anteil Unterhaltskosten
Instandhaltung/Instandsetzung				/Jahr
Unterbau	A	30%	30%	0,5%
Tragwerk	B	50%	50%	1,2%
Ausrüstung 30%	C1	6%	6%	2,0%
Ausrüstung 70%	C2	14%	14%	1,2%
				Werte OK

Kostenanteile		Vorgabe	Wahl
Abbruchkosten			
Gesamtbauwerk	D	20%	20%

Ergebnisse im Betrachtungsjahr (unverzinst)		2009	2099	Faktor
Abbruch vor Neubau		€ 120.000,00		
Unterbau		€ 189.000,00	€ 274.000,00	1,45
Tragwerk		€ 315.000,00	€ 655.000,00	2,08
Ausrüstung 30%		€ 38.000,00	€ 243.000,00	6,39
Ausrüstung 70%		€ 88.000,00	€ 500.000,00	5,68
<b>Lebenszykluskosten (unverzinst)</b>		<b>€ 750.000,00</b>	<b>€ 1.672.000,00</b>	<b>2,23</b>

Ergebnisse im Betrachtungsjahr (verzinst)		2009	2099	Faktor
Abbruch vor Neubau		€ 120.000,00		
Unterbau		€ 189.000,00	€ 221.000,00	1,17
Tragwerk		€ 315.000,00	€ 436.000,00	1,38
Ausrüstung 30%		€ 38.000,00	€ 93.000,00	2,45
Ausrüstung 70%		€ 88.000,00	€ 190.000,00	2,16
<b>Lebenszykluskosten (verzinst)</b>		<b>€ 750.000,00</b>	<b>€ 940.000,00</b>	<b>1,25</b>
<b>Restwert</b>		<b>€ 630.000,00</b>	<b>€ 53.000,00</b>	

ANLAGE 7 – BERECHNUNG 1: VARIATION ND/JÄHR. INST.KOST - EW

## Berechnung der Bauwerkskosten nach der Endwertmethode

Datum der Berechnung 2009 Jahre  
 Betrachtungszeitraum 90 Jahre  
 Kalkulationszinssatz 3%

Brückentyp auswählen Kosten/m<sup>2</sup> (Netto)  
**Stahlbetonbrücke** € 1.700,00

Ausmaße der Brücke inklusive Randleiste

Länge 35,00 m  
 Breite 10,00 m  
 Fläche 350,00 m<sup>2</sup>

	Vorgabe	Wahl		
zu erwartende Errichtungskosten			€	600.000,00
Planungskosten	5%	5%	€	30.000,00
<b>zu erwartende Gesamterrichtungskosten (netto)</b>			<b>€</b>	<b>630.000,00</b>

Kostenanteile		Vorgabe	Wahl	Anteil Unterhaltskosten
Instandhaltung/Instandsetzung				/Jahr
Unterbau	A	30%	30%	0,5%
Tragwerk	B	50%	50%	0,8%
Ausrüstung 30%	C1	6%	6%	1,5%
Ausrüstung 70%	C2	14%	14%	1,2%
Werte OK				

Kostenanteile		Vorgabe	Wahl
Abbruchkosten			
Gesamtbauwerk	D	20%	20%

Ergebnisse im Betrachtungsjahr (unverzinst)		2009	2099	Faktor
Abbruch vor Neubau		€ 120.000,00		
Unterbau		€ 189.000,00	€ 274.000,00	1,45
Tragwerk		€ 315.000,00	€ 920.000,00	2,92
Ausrüstung 30%		€ 38.000,00	€ 272.000,00	7,16
Ausrüstung 70%		€ 88.000,00	€ 500.000,00	5,68
<b>Lebenszykluskosten (unverzinst)</b>		<b>€ 750.000,00</b>	<b>€ 1.966.000,00</b>	<b>2,62</b>

Ergebnisse im Betrachtungsjahr (verzinst)		2009	2099	Faktor
Abbruch vor Neubau		€ 120.000,00		
Unterbau		€ 189.000,00	€ 3.663.000,00	19,38
Tragwerk		€ 315.000,00	€ 9.516.000,00	30,21
Ausrüstung 30%		€ 38.000,00	€ 1.890.000,00	49,74
Ausrüstung 70%		€ 88.000,00	€ 4.367.000,00	49,63
<b>Lebenszykluskosten (verzinst)</b>		<b>€ 750.000,00</b>	<b>€ 19.436.000,00</b>	<b>25,91</b>
<b>Restwert</b>		<b>€ 630.000,00</b>	<b>€ 366.000,00</b>	

ANLAGE 8 – BERECHNUNG 2: VARIATION ND/JÄHR. INST.KOST - EW

## Berechnung der Bauwerkskosten nach der Endwertmethode

Datum der Berechnung 2009 Jahre  
Betrachtungszeitraum 90 Jahre  
Kalkulationszinssatz 3%

Brückentyp auswählen Kosten/m<sup>2</sup> (Netto)  
**Stahlbetonbrücke** € 1.700,00

Ausmaße der Brücke inklusive Randleiste

Länge 35,00 m  
Breite 10,00 m  
Fläche 350,00 m<sup>2</sup>

	Vorgabe	Wahl		
zu erwartende Errichtungskosten			€	600.000,00
Planungskosten	5%	5%	€	30.000,00
<b>zu erwartende Gesamterrichtungskosten (netto)</b>			<b>€</b>	<b>630.000,00</b>

Kostenanteile				Anteil Unterhaltskosten
Instandhaltung/Instandsetzung		Vorgabe	Wahl	/Jahr
Unterbau	A	30%	30%	0,5%
Tragwerk	B	50%	50%	1,5%
Ausrüstung 30%	C1	6%	6%	2,0%
Ausrüstung 70%	C2	14%	14%	1,2%
			Werte OK	

Kostenanteile			
Abbruchkosten		Vorgabe	Wahl
Gesamtbauwerk	D	20%	20%

Ergebnisse im Betrachtungsjahr (unverzinst)		2009	2099	Faktor
Abbruch vor Neubau		€ 120.000,00		
Unterbau		€ 189.000,00	€ 274.000,00	1,45
Tragwerk		€ 315.000,00	€ 740.000,00	2,35
Ausrüstung 30%		€ 38.000,00	€ 243.000,00	6,39
Ausrüstung 70%		€ 88.000,00	€ 500.000,00	5,68
<b>Lebenszykluskosten (unverzinst)</b>		<b>€ 750.000,00</b>	<b>€ 1.757.000,00</b>	<b>2,34</b>

Ergebnisse im Betrachtungsjahr (verzinst)		2009	2099	Faktor
Abbruch vor Neubau		€ 120.000,00		
Unterbau		€ 189.000,00	€ 3.663.000,00	19,38
Tragwerk		€ 315.000,00	€ 7.501.000,00	23,81
Ausrüstung 30%		€ 38.000,00	€ 2.021.000,00	53,18
Ausrüstung 70%		€ 88.000,00	€ 4.367.000,00	49,63
<b>Lebenszykluskosten (verzinst)</b>		<b>€ 750.000,00</b>	<b>€ 17.552.000,00</b>	<b>23,40</b>
<b>Restwert</b>		<b>€ 630.000,00</b>	<b>€ 160.000,00</b>	



**ANLAGE 9 - KOSTENAUFSTELLUNG ZUR ERMITTLUNG DER M<sup>2</sup>-PREISE FÜR  
STAHLBETONBRÜCKEN AM BEISPIEL L198, LECH, ZÜRSBACHBRÜCKE UND  
MONZABONBACHBRÜCKE**

Die L198 stellt die Verbindung zw. Arlberg und dem Tiroler Lechtal dar und verbindet die Orte Lech-Zürs und Warth. Zwischen den beiden Orten Lech-Zürs werden die beiden Brücken welche sich unmittelbar hintereinander befinden abgebrochen und anschließend neu errichtet. Während der Baudauer ist eine örtliche Umfahrung vorgesehen. Der Unterbau und das Tragwerk werden in Stahlbeton ausgeführt. Die beiden Brücken haben eine Stützweite von 18m und 20m und haben eine Gesamtfläche von 320 m<sup>2</sup>.



**Abb. 11: Baustelle Zürsbachbrücke und Monzabonbachbrücke<sup>86</sup>**

Nachfolgend die Kostenaufstellung zur Ermittlung der Kostenanteile für die zusammengefassten Hauptbauteile sowie des gemittelten Quadratmeterpreises. Bei sämtlichen angeführten Positionspreisen (3. Spalte Pos.-Preis) handelt es sich um Nettopreise.

---

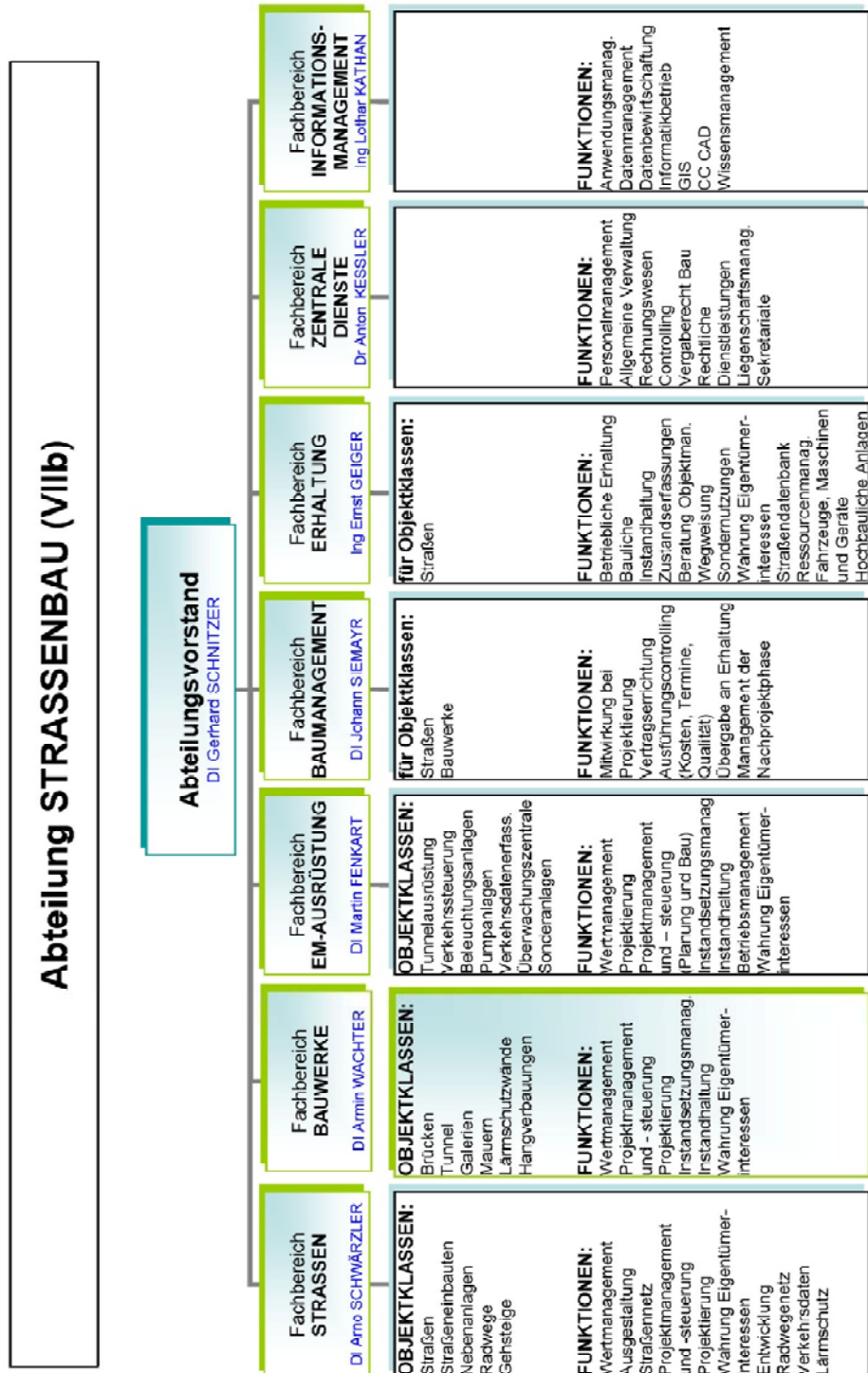
<sup>86</sup> Foto beigestellt vom Amt der Vorarlberger Landesregierung Abt. VIIb (A. Vogel).

**Lebenszykluskosten von Brückenbauwerken in Vorarlberg**  
Anlagen

LG-Pos.NR.	Positionsstichwort	Pos.-Preis [Mittelwert Pb 2009]	Kosten- anteil [%]
<b>ALLGEMEIN</b>			
01	Projektierung, Prüfung, Vermessung	€ 39.000	9%
03	Vor-, Abtrags- und Erdarbeiten	€ 81.000	19%
Summe Allgemein		€ 120.000	
<b>UNTERBAU</b>			
02	Baustellengemeinkosten	€ 17.000	
04	Entwässerungs- und Kabelgrabarbeiten	€ 13.000	
05	Gründungsarbeiten	€ 17.000	
06	Beton-, Stahlbeton- und Mauerungsarbeiten	€ 59.000	
15	Unterbauplanum u. ungebundene Tragschichten	€ 13.000	
12	Steinsatz, Böschungs-, Ufer- u. Sohlsicherung	€ 16.000	
Summe Unterbau		€ 134.000	31 %
<b>TRAGWERK</b>			
02	Baustellengemeinkosten	€ 29.000	
06	Beton-, Stahlbeton- und Mauerungsarbeiten	€ 169.000	
07	Oberflächenschutz und Abdichtung von Beton	€ 19.000	
Summe Tragwerk		€ 216.000	50%
<b>AUSRÜSTUNG</b>			
02	Baustellengemeinkosten	€ 13.000	
10	Brückenausrüstung	€ 34.000	
16	Bituminöse Trag- und Deckschichten	€ 20.000	
18	Pflasterarbeiten, Randbegrenzungen	€ 6.000	
23	Straßenausrüstung	€ 4.000	
28	Kabelarbeiten	€ 8.000	
Summe Ausrüstung		€ 84.000	19%
<b>Errichtungskosten des Bauwerkes</b>			
Summe Unterbau, Tragwerk und Ausrüstung (Berechnungsbasis der Kostenanteile)		€ 433.000	100%
Summe Gesamt (Berechnungsbasis für m <sup>2</sup> -Kosten)		€ 553.000	
<b>Ermittelte flächenbezogene Quadratmeterkosten</b>			
Gesamtfläche der Brücken		320 m <sup>2</sup>	
Flächenbezogene Gesamtkosten		€ 1.728	
Flächenbezogene Gesamtkosten gerundet		€ 1.750	

Tabelle 14: Ermittlung Kostenanteile für Bauwerksteile und m<sup>2</sup>-Kosten

ANLAGE 10 – DIENSTSTELLENPLAN ABT. VIIB



Stand: 15.09.2008